

# **Proyecto Final de Carrera. Ingeniería técnica Industrial: Electricidad**



## ***ESTUDIO DE LAS APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ESPAÑA. CASO PRÁCTICO PARA CLIMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR***

**Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Politécnica.  
Universidad Carlos III de Madrid**

**Alumno:**

Sergio Benítez Martín

**Tutora:**

Consuelo Gómez Pulido

**Director:**

Edgardo D. Castronuovo

Leganés, 14 de julio de 2011



## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	4
1.1 Objetivos del proyecto	4
<b>2. Resumen de las Energías renovables</b>	5
2.1 Energía Solar Fotovoltaica	5
2.2 Energía Solar Térmica	7
2.3 Energía solar Termoeléctrica	10
2.4 Energía Eólica	11
2.5 Energía Hidráulica	13
2.6 Energía Mareomotriz	16
2.7 Energía Undimotriz	18
2.8 Biomasa	19
<b>3. Geotermia</b>	22
3.1 Energía Geotérmica: Alta Entalpía y Baja Entalpía	23
3.2 Yacimientos Geotérmicos	25
3.2.1 Yacimiento hidrotérmico con predominio de vapor	26
3.2.2 Yacimiento hidrotérmico con predominio de agua en fase líquida o simplemente yacimientos de agua caliente	27
3.2.3 Yacimiento en cuenca sedimentaria	28
3.2.4 Yacimiento geopresurizado	29
3.2.5 Yacimiento de roca caliente seca (HDR)	29
3.3 Utilización de los recursos geotérmicos	31
3.3.1 Generación de energía	31
3.3.2 Usos directos del calor	42
3.4 Ventajas y desventajas de la energía geotérmica	52
3.5 Geotermia en el mundo	56
3.6 Geotermia en España	61
3.7 Ecología	62
<b>4. Aplicación de la Geotermia en una Vivienda</b>	65
4.1 Descripción de la vivienda objeto de estudio	65
4.2 Cálculo de las cargas térmicas	66
4.2.1 Condiciones de diseño	66
4.3 Cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos	67
4.4 Método de cálculo de las cargas internas	74
4.5 Agua Caliente Sanitaria	96
4.6 Diseño del intercambiador geotérmico	98
4.6.1 Diseño del intercambiador vertical	99



4.6.2 Equipos para el intercambiador geotérmico.....	109
4.7 Elección de la bomba de calor .....	114
4.8 Configuración de la instalación interior.....	120
4.8.1 Fan-coils.....	121
4.8.2 Toalleros.....	123
4.8.3 Bomba de circulación de agua del circuito interior .....	124
4.8.4 Deposito de Inercia .....	126
4.8.5 Deposito de expansión .....	127
4.8.6 Filtro.....	127
4.8.7 Válvulas de seguridad .....	128
<b>5. Equipos para la regulación del sistema de climatización.....</b>	<b>130</b>
<b>6. Subvenciones .....</b>	<b>131</b>
<b>7. Presupuesto .....</b>	<b>132</b>
<b>8. Comparación de consumos del sistema geotérmico respecto de un sistema tradicional .....</b>	<b>135</b>
<b>9. Conclusiones.....</b>	<b>138</b>
<b>10. Planos.....</b>	<b>139</b>
<b>11. Bibliografía.....</b>	<b>142</b>



# 1. Introducción

## 1.1 Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema de calefacción mediante una bomba de calor geotérmica en una vivienda unifamiliar situada en San Sebastián de los reyes.

Lo primero que haremos es una breve descripción de las diferentes energías renovables existentes en la actualidad. En este apartado dejaremos separada la energía geotérmica ya que entraremos más en detalle en el apartado que le sigue.

En el siguiente apartado como se ha comentado explicaremos en qué consiste y para que se utiliza la energía geotérmica. Explicaremos tanto su uso para la generación de electricidad, comentando los diferentes tipos de centrales existentes, como su uso para el sector residencial y sector industrial. También se detallaran las ventajas e inconvenientes del uso de esta energía respecto a otras.

Por último pasaremos a realizar un proyecto práctico de climatización de una vivienda mediante el uso de la geotermia.

Para la realización de este proyecto se deberá cumplir la normativa vigente; en concreto el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).

- El CTE establece los requisitos de eficiencia que deben tener los edificios, y concretamente en sus documentos básicos de Limitación de Demanda Térmica (DB HE1) y de Rendimiento de las Instalaciones Térmicas (DB HE2) se establecen la metodología de cálculo de las características térmicas y los criterios de diseño, instalación y mantenimiento de las instalaciones de climatización.
- El documento básico DB HE1 limita las transmitancias máximas de los cerramientos para evitar pérdidas de calor.
- El documento básico DB HE2 establece las condiciones de diseño y rendimientos encaminados a conseguir cierto ahorro energético.
- En el RITE se definen los requisitos que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios (ventilación, refrigeración, calefacción y producción de agua caliente sanitaria) y además se determinan también las condiciones de bienestar e higiene adecuadas para los ocupantes de los edificios, se fomenta también el uso de equipos eficientes con etiquetado energético.

El cumplimiento de la normativa ha de conducir hacia edificios más sostenibles y eficientes energéticamente; al conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello fuentes de energía renovable.



## 2. Resumen de las Energías Renovables

### 2.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente de los rayos del sol gracias al efecto fotoeléctrico de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

Se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad para redes de distribución.

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior entre los que queda encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas. La lámina inferior puede ser transparente, pero lo más frecuente es un plástico de tedlar. Para encapsular se suele añadir unas láminas finas y transparentes de Etileno Vinil Acetato que se funden para crear un sellado antihumedad, aislante, transparente y robusto.



*Figura 1. Paneles solares en Jaén.*

La corriente eléctrica continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna mediante un aparato electrónico llamado inversor e inyectar en la red eléctrica, operación actualmente sujeta a subvenciones en muchos lugares para una mayor viabilidad.

El proceso, simplificado, sería el siguiente: Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.



## Situación actual de la energía solar fotovoltaica en España.

En España tenemos los siguientes parques solares:

- El parque solar de Binisafúller es un parque de energía solar fotovoltaica de 1,3 MW situado en Binisafúller, en el municipio de San Luis, Menorca.
- El parque solar La Magascona es un complejo solar proyectado en Trujillo (Cáceres). El proyecto consta de 200 instalaciones de 100 kW cada una, para una potencia total de 20 MW, equivalente al consumo de 20.000 hogares. Está instalado sobre una superficie de 100 hectáreas.
- El parque solar Los Olivares es un complejo solar situado al norte de la ciudad de Jaén. Ocupa una extensión de 18 hectáreas y se compone de 18.000 módulos fotovoltaicos. Genera 756 megavatios hora al año, equivalente a la energía consumida anualmente en 3.500 hogares.
- La huerta solar Monte Alto de Milagro es una huerta solar situada en Milagro, en la provincia de Navarra. Fue promovida por Acciona Solar. Tiene una superficie de 51 hectáreas, una producción de 14 millones de hora anuales.
- El parque solar fotovoltaico Ramón Escriche es un parque de energía solar que se construye en la localidad de Flix, Tarragona. Con una potencia de 8,1 MW y una superficie de 40 hectáreas.
- El parque solar de Benixama, Alicante. Produce unos 30.200 megavatios hora al año lo que equivale al consumo energético medio de 12.000 hogares. Es el huerto más grande del mundo.

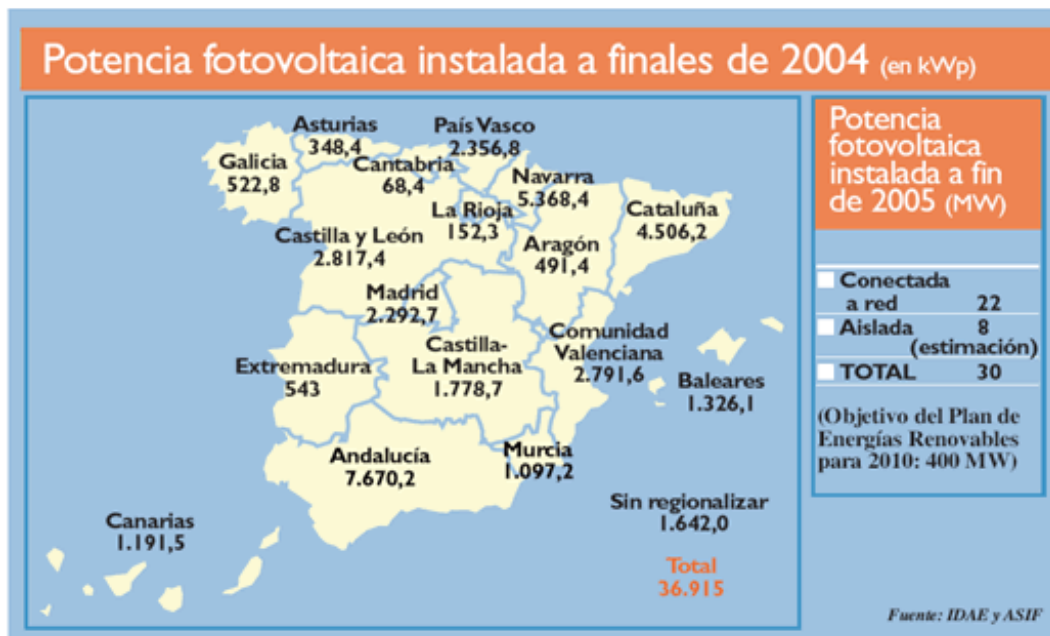
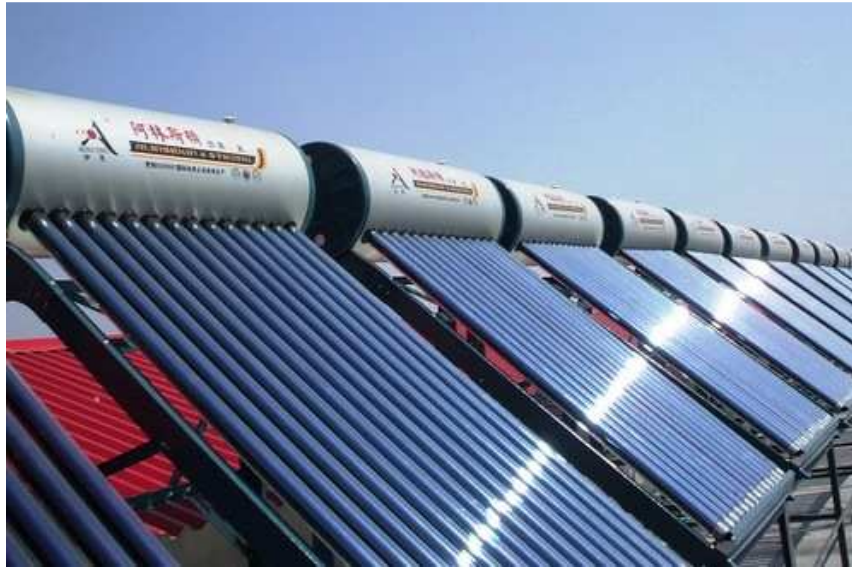


Figura 2. Mapa con los datos de la potencia fotovoltaica instalada en España a finales de 2004.



## 2.2 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.



*Figura 3. Colectores solares térmicos.*

### Agua Caliente Sanitaria

La principal aplicación de la energía solar térmica es la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para el sector doméstico y de servicios. El agua caliente sanitaria se usa a una temperatura de 45 °C, temperatura a la que se puede llegar fácilmente con captadores solares planos que pueden alcanzar como temperatura media 80 °C. Se considera que el porcentaje de cubrimiento del ACS anual es aproximadamente del 60 %; se habla de este porcentaje, y no superior, para que en la época de mayor radiación solar no sobre energía. La energía aportada por los captadores debe ser tal que en los meses más favorables aporte el 100 %. El resto de las necesidades que no aportan los captadores se obtiene de un sistema auxiliar, que habitualmente suele ser gasóleo, gas o energía eléctrica. Con este porcentaje de cubrimiento los periodos de amortización son reducidos.

### Calefacción y Frío solar

La energía solar térmica puede ser un complemento al sistema de calefacción (caldera de gas o eléctrica), apoyo que consiste entre el 20% y el 50% de la demanda energética de la calefacción. Para ello, la instalación o caldera ha de contar con intercambiador de placas y un regulador (que dé prioridad en el uso del agua caliente para ser empleada en agua de manos).





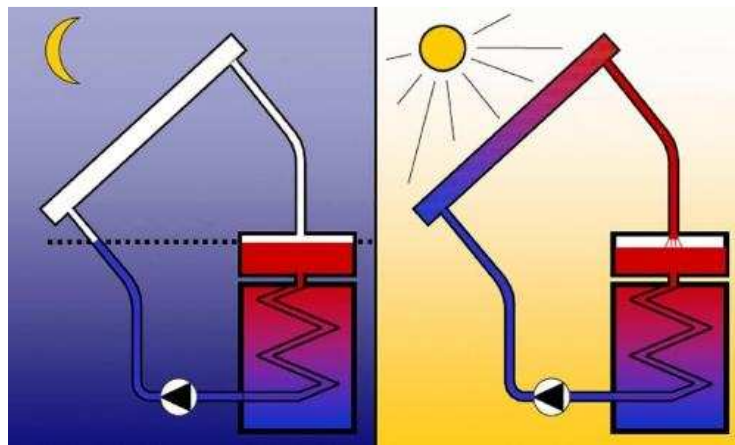
El sistema emisor de calor (radiadores, suelo radiante, zócalo radiante, muro radiante, fan-coil...) que es más conveniente utilizar es el de baja temperatura ( $\leq 50^{\circ}\text{C}$ ), de esta manera el sistema solar de calefacción tiene mayor rendimiento.

Durante el verano, se pueden cubrir las placas, a fin de evitar que se estropeen por las altas temperaturas o bien se pueden utilizar para producir frío solar (aire acondicionado frío).

No obstante, se pueden instalar sistemas que no son de baja temperatura, para así emplear radiadores convencionales.

### Equipo

Una instalación solar térmica está formada por varios sistemas:



*Figura 4. Funcionamiento de una instalación termosolar durante el día y la noche.*

- **Sistema de captación:** el sistema de captación está formado por captadores solares conectados entre sí. Su misión es captar la energía solar para transformarla en energía térmica, aumentando la temperatura de fluido que circula por la instalación. El tipo de captador más extendido es el captador solar plano que consigue aumentos de temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  a un coste reducido. Estos captadores están indicados para la producción de agua caliente para diversas aplicaciones: Agua caliente sanitaria, calefacción por suelo radiante, etc. El captador plano está formado por una placa metálica que se calienta con su exposición al Sol (absorbedor); esta placa es de color negro de forma que no refleja los rayos del Sol. Normalmente la placa está colocada en una caja con cubierta de vidrio. Por el interior de la caja se hace circular agua a través de un serpentín o un circuito de tubos de forma que el calor se transmite al fluido. El efecto que se produce es similar al de un invernadero, la luz del Sol atraviesa la placa de vidrio y calienta la placa ennegrecida. El vidrio es una “trampa solar”, pues deja pasar la radiación del Sol (onda corta) pero no deja salir la radiación térmica que emite la placa ennegrecida (onda larga) y como consecuencia, esta placa se calienta y transmite el calor al líquido que circula por los tubos.





En el mercado también existen los captadores solares de vacío. Consisten en tubos de metal que recubren el tubo metálico que contiene el fluido de trabajo dejando entre ambos una cámara que actúa como aislante. Tienen un rendimiento muy elevado, pero su costo también es elevado.

Para aplicaciones de media y alta temperatura existen otros elementos de captación, provistos de sistemas concentradores de la radiación, sistemas de seguimiento de la posición del Sol a lo largo de día, etc.

- **Sistema de acumulación:** consiste en almacenar la energía térmica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. El agua caliente obtenida mediante el sistema de captación, es conducida hasta donde se va a utilizar. Puede ser directamente, como es el caso del calentamiento del agua de una piscina. En aplicaciones de ACS o calefacción la demanda no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación, por tanto si se quiere aprovechar al máximo las horas de Sol será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día en que esto sea posible y utilizarla cuando se produzca la demanda.

El sistema de acumulación está formado por uno o más depósitos de agua caliente. La dimensión de los depósitos de almacenamiento deberá ser proporcional al consumo estimado y debe cubrir la demanda de agua caliente de uno o dos días.

- **Sistema de distribución:** en este sistema se engloban todos los elementos destinados a la distribución y acondicionamiento a consumo: control, tuberías y conducciones, vasos de expansión, bombas, purgadores, válvulas, etc. También forma parte de este sistema el sistema de apoyo basado en energías convencionales (eléctricos, caldera de gas o gasóleo), necesarios para prevenir las posibles faltas derivadas de la ausencia de insolación y hacer frente a los picos de demanda.
- **Sistemas convencionales de apoyo:** las instalaciones de energía solar térmica necesitan sistemas de apoyo convencional en previsión a la falta de radiación o a un consumo superior al dimensionado (gasóleo, gas o electricidad). En la mayoría de los casos tanto en instalaciones en viviendas unifamiliares, como en edificios de viviendas, las instalaciones solares se diseñan para proporcionar a las viviendas entre el 60-80 % del agua caliente demandada, aunque en zonas con gran insolación a lo largo del año, el porcentaje de aporte suele ser superior.



### 2.3 Energía solar Termoeléctrica

Las Centrales Solares Termoeléctricas (CET) son sin duda una de las tecnologías energéticas renovables que pueden hacer un aporte considerable de electricidad no contaminante en el medio plazo. La tecnología solar termoeléctrica consiste en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido que se hace pasar posteriormente por una etapa de turbina, bien directamente, en las configuraciones sólo-primario, o a través de un sistema de intercambio térmico con otro fluido que circula por la turbina en la configuración conocida como primario-secundario. Tras la etapa compuesta por los equipos propiamente solares, concentrador óptico y receptor solar, este esquema tiene muchas similitudes con las tecnologías termoeléctricas convencionales basadas en la conversión mecánica del calor, y ulteriormente la generación eléctrica, en un alternador a partir de un movimiento mecánico rotativo. El diagrama de bloques así descrito se muestra en la imagen, en la que además se han insertado un lazo de almacenamiento y un apoyo fósil discrecional, que eventualmente pueden servir para desacoplar la irradiancia y la potencia producida, en el caso de que el perfil de demanda discrepe del aporte solar. El sistema así descrito puede proporcionar una impresión de sencillez tecnológica que sin embargo, no resultaría fidedigna a la vista de la complejidad que entraña la necesidad de concentración solar.



*Figura 5. Central solar termoeléctrica PS10 de Sevilla.*



## 2.4 Energía Eólica

La energía eólica es aquella energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2009, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 159,2 gigavatios. Mientras la eólica genera alrededor del 2% del consumo de electricidad mundial, cifra equivalente a la demanda total de electricidad en Italia, la séptima economía mayor mundial (Datos del 2009). En el año 2009 el porcentaje aportado por la energía eólica en España aumentó hasta el 13,8%.



*Figura 6. Aerogeneradores en Ávila.*

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar las centrales termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente de esta energía es su intermitencia.

### Como funciona

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, viento geoestérico, con velocidades proporcionales al gradiente de presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en



viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*".

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.

En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Un molino es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable, que proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de molino de viento. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento. Los molinos tienen un origen remoto.

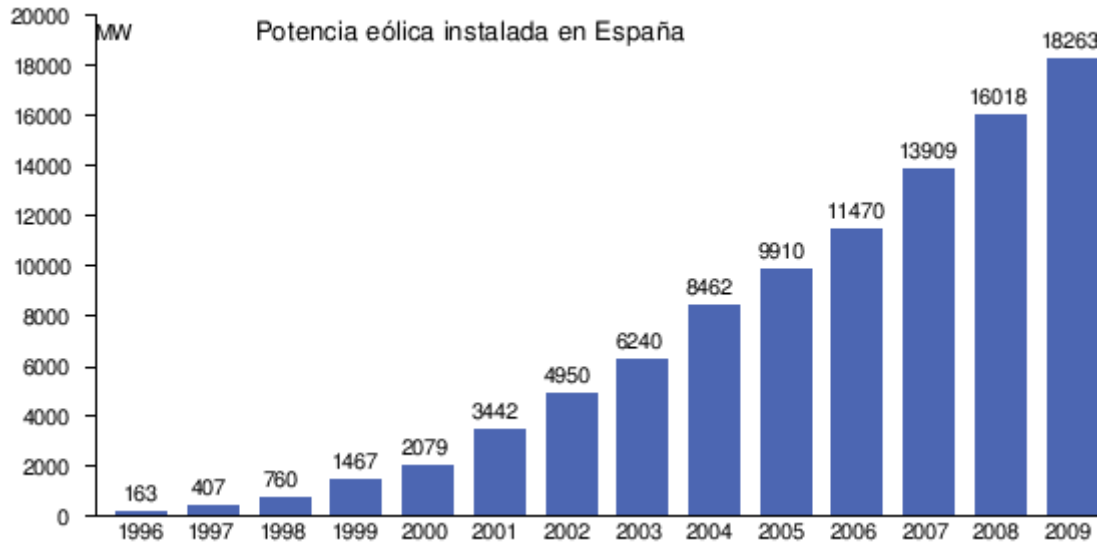
### **Situación actual de la energía eólica en España.**

Según los datos disponibles con fecha del 31 de diciembre de 2009 la capacidad de energía eólica era de 18.263 MW lo que sería un 18,5 % de la capacidad del sistema eléctrico nacional.

España desde la década de 2000 ha sufrido un aumento espectacular, incentivada por una legislación que estimulaba fuertemente las inversiones en este sector (REAL DECRETO 661/2007, de 25 de mayo) mediante primas. En el año 1998 España tenía una capacidad de energía eólica de un 1,54%.



En términos de potencia instalada España es el tercer país en el mundo por detrás de Alemania y EEUU. Además, desde el 2009 la energía eólica es la tercera fuente de energía tras superar a la generada mediante carbón.



*Figura 7. Evolución de la potencia eólica instalada en España.*

## 2.5 Energía Hidráulica

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde porque su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

Se puede transformar a muy diferentes escalas, existen desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales. Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de represas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.





*Figura 8. Presa hidráulica.*

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua de los mares, principalmente, se evapore y ascienda por el aire y se mueva hacia las regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que se mueva los álabes de una turbina engranada con un generador de energía eléctrica.

### **Historia de la energía hidráulica:**

Los antiguos romanos y griegos aprovechaban ya la energía del agua; utilizaban ruedas hidráulicas para moler trigo. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación generalizada hasta el siglo XII. Durante la edad media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos. La energía hidroeléctrica debe su mayor desarrollo al ingeniero civil británico John Smeaton, que construyó por vez primera grandes ruedas hidráulicas de hierro colado. La hidroelectricidad tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial. Impulsó las industrias textiles y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible. La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales en el siglo XIX, cuando comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. El bajo caudal del verano y otoño, unido a los hielos del invierno hacían necesaria la construcción de grandes presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica moderna se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de energía hidroeléctrica eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas.



### Aprovechamiento del agua:

Las formas más frecuentemente utilizadas para explotar la energía hidráulica son las siguientes:

- **Desvío del cauce de agua:** El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce, el cual siempre es descendente. Este hecho revela que la energía potencial no es íntegramente convertida en cinética como sucede en el caso de una masa en caída libre, la cual se acelera, sino que ésta es invertida en las llamadas *pérdidas*, es decir, la energía potencial se "pierde" en vencer las fuerzas de fricción con el suelo, en el transporte de partículas, en formar remolinos, etc. Entonces esta energía potencial podría ser aprovechada si se pueden evitar las llamadas pérdidas y hacer pasar al agua a través de una turbina. El conjunto de obras que permiten el aprovechamiento de la energía anteriormente mencionada reciben el nombre de central hidroeléctrica o hidráulica.

El balance de energía arriba descrito puede ser ilustrado mejor a través del principio de Bernoulli.

- **Intercepción de la corriente de agua:** Este método consiste en la construcción de una presa de agua que retenga el cauce de agua causando un aumento del nivel del río en su parte anterior a la presa de agua, el cual podría eventualmente convertirse en un embalse. El dique establece una corriente de agua no uniforme y modifica la forma de la superficie de agua libre del río antes y después de éste, que toman forma de las llamadas curvas de remanso. El establecimiento de las curvas de remanso determinan un nuevo salto geodésico aprovechable de agua.

En ambas opciones se hace uso de turbinas, estas turbinas pueden ser de varios tipos, según los tipos de centrales:

- **Pelton** (saltos grandes y caudales pequeños).
- **Francis** (salto más reducido y mayor caudal)
- **Kaplan** (salto muy pequeño y caudal muy grande).

El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas para adecuar el flujo de agua por las turbinas con respecto a la demanda de electricidad. El agua sale por los canales de descarga.

El agua es devuelta al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a utilizar por otra central situada aguas abajo o para consumo.

En los casos en los que se usa presas hay que tener en cuenta diversos inconvenientes, uno de ellos es la posibilidad de inundación de los terrenos fértiles y poblaciones que son precisas evacuar.





### Situación actual de la energía hidráulica en España.

España se encuentra en la línea de otros países de la OCDE respecto a la producción de energía eléctrica, siendo el 18,5% de esta energía de origen hidráulico. La evolución de la energía hidroeléctrica en España en las últimas décadas ha sido siempre creciente aunque la participación de ésta en el total de eléctrica producida ha ido disminuyendo (92% en 1940 y 18% en 2001) Esto se debe al incremento de la producción de energía termal y nuclear de los últimos 50 y 30 años respectivamente. La potencia instalada en España en 2008 fue de 18.451 MW.



Figura 9. Evolución de la potencia hidráulica instalada en España.

En España hay centrales de producción hidráulica en la mayoría de las Comunidades Autónomas; la que tiene mayor potencia instalada es la de Aldeadávila en el Río Duero (Provincia de Salamanca) con 1140 MW, seguido por el embalse José María de Oriol en el Tajo (Cáceres) con un 915 MW. Otros embalses de capacidad por encima de los 500 MW son el de Cortés-La Muela en el Júcar (Valencia), Villarino en el Tormes (Salamanca) o Saucelle en el Duero (Salamanca).

### 2.6 Energía Mareomotriz

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas, gracias a la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última y del Sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse poniendo partes móviles al proceso natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje.

Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable limpia.



*Figura 10. Central mareomotriz en el estuario del río Rance.*

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.

### **Como funciona**

La energía de las mareas se transforma en electricidad en las denominadas centrales mareomotrices, que tienen una función similar a la de un embalse tradicional de río. El depósito se llena con la marea y el agua se retiene hasta la bajamar para ser liberada después a través de una red de conductos estrechos, que aumentan la presión, hasta las turbinas que generan la electricidad.

El lugar ideal para instalar un central mareomotriz es un estuario, una bahía o una ría donde el agua de mar penetre.

La construcción de una central mareomotriz es sólo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja.

El agua, al pasar por el canal de carga hacia el mar, acciona la hélice de la turbina y ésta, al girar, mueve un generador que produce electricidad.

### **Situación actual de la energía mareomotriz en España.**

El desarrollo de esta tecnología en nuestro país todavía es incipiente aunque el Gobierno de Cantabria y el Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) quieren crear un centro de I+D+I en la costa de Santoña. La planta podría atender al consumo doméstico anual de unos 2.500 hogares.



## 2.7 Energía Undimotriz

La energía undimotriz, a veces llamada energía olamotriz, es la energía producida por el movimiento de las olas. Es menos conocida y extendida que la mareomotriz, pero cada vez se aplica más.



*Figura 11. Pelamis en Portugal.*

Algunos sistemas pueden ser:

- Un aparato anclado al fondo y con una boya unida a él con un cable. El movimiento de la boya se utiliza para mover un generador. Otra variante sería tener la maquinaria en tierra y las boyas metidas en un pozo comunicado con el mar.
- Un aparato flotante de partes articuladas que obtiene energía del movimiento relativo entre sus partes. Como la "serpiente marina" Pelamis.
- Un pozo con la parte superior hermética y la berruga comunicada con el mar. En la parte superior hay una pequeña abertura por la que sale el aire expulsado por las olas. Este aire mueve una turbina que es la que genera la electricidad.

### **Situación actual de la energía undimotriz en España.**

En España hay varios proyectos, los proyectos actuales están siendo desarrollados en Santoña, en el puerto de Granadilla (Tenerife) y en Pasajes (Guipuzcoa).

La planta de Santoña, que cuenta con un presupuesto de partida de 2,66 millones de euros, se encontrará a una milla marina, algo más de un kilómetro, de la costa. Contará con una red de diez boyas distribuidas en 2.000 metros cuadrados. Según sus promotores, las principales ventajas de este sistema son su seguridad, al encontrarse sumergido, su mayor durabilidad y un impacto ambiental mínimo.

En Pasajes está instalado un prototipo pequeño que tiene pensado ampliarse hasta los 500 kilowatios. Este proyecto cuenta con un presupuesto de 4 millones de euros.

En el Puerto de Granadilla está situada una planta de energía undimotriz con un presupuesto de 400.000 euros.

Y en el País Vasco se está desarrollando un proyecto de central piloto en Mutriku.



La planta del puerto de Mutriku (Guipúzcoa) empleará la tecnología denominada "columna de agua oscilante", que sólo existe en Escocia y en las islas Azores, aunque en la de Guipúzcoa funcionará con más de una turbina, 16 en concreto, para mejorar la integración de la planta en el dique. El sistema funciona de la siguiente manera: cuando la ola llega al dique, el agua asciende por el interior de unas cámaras, comprimiendo el aire que hay en el interior y expulsándolo a través de una pequeña apertura superior. Esto hace que el aire comprimido salga a gran velocidad, provocando el giro de las turbinas, cuyos generadores producirán la energía eléctrica. La planta se ubicará en la zona exterior del nuevo dique de abrigo que se construirá en Mutriku y ocupará 75 metros de longitud, lo que no supondrá impacto medioambiental ni paisajístico alguno y generará energía de forma continuada para más de 240 familias. La planta también convertirá el agua del mar en apta para el consumo.

## 2.8 Biomasa

El concepto de biomasa es muy extenso y comprende todo tipo de materia orgánica, tanto de origen vegetal como animal, que puede servir como combustible, y está formada gracias a la fotosíntesis directamente (como los vegetales) o indirectamente (por la digestión de los vegetales).

Incluye específicamente los residuos procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como los subproductos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera.

Están, además, los llamados cultivos energéticos para la producción de biomasa lignocelulósica, orientada a su aplicación mediante combustión o gasificación.



*Figura 12. Biomasa*

La biomasa está formada por leña, arbustos, residuos forestales, restos de poda, residuos agrícolas como la paja, residuos de industrias madereras, papeleras y agroalimentarias, estiércol, residuos de explotaciones agroganaderas, residuos sólidos urbanos y aguas residuales urbanas entre otros.

La mayor parte de estos componentes, por no decir la totalidad, puede utilizarse como combustible, ya sea de forma directa (quemándolos) o transformándolos a otras formas de combustible como biogás o biocombustibles.



Utilizar la biomasa como combustible es un recurso renovable ya que se produce a la misma velocidad del consumo, siempre y cuando el consumo sea controlado y se evite la sobreexplotación de los recursos naturales.

A diferencia de los combustibles fósiles, la biomasa es respetuosa con el medioambiente, ya que no emite gases de efecto invernadero de forma incontrolada.

Cuando se combustiona, la biomasa libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera, el mismo CO<sub>2</sub> que absorbió de ella durante su crecimiento, si se trata de materia orgánica vegetal, o que absorbieron las plantas que ingirió, si se trata de materia orgánica animal.

Si se consume de manera sostenible, el ciclo se cierra y el nivel de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se mantiene constante, de forma que su utilización no contribuye a generar el cambio climático.

Y no sólo eso, sino que con su consumo se sustituye el consumo de combustibles fósiles, evitando así generar emisiones que no formaban parte de la atmósfera anteriormente y que son causantes del cambio climático.

Además, emplear biomasa como combustible es beneficioso para el entorno: elimina residuos ayudando a disminuir el riesgo de incendio y la acumulación de desechos, y trata aguas residuales y purines que son fuente de contaminación del subsuelo y de aguas subterráneas.

Algunos critican que los beneficios obtenidos de utilizar la biomasa para generarla electricidad se pierde cuando es necesario trasladar el material a grandes distancias.

### **Situación actual de la biomasa en España.**

En España hay varias plantas o proyectos, por ejemplo Acciona abrirá en Bibriesca (Burgos) una planta de generación eléctrica de biomasa a base de paja. La instalación producirá 120 millones de kWh anuales, equivalentes a 881.000 barriles de petróleo, o al consumo eléctrico de 50.000 viviendas. De esta forma, se evita la emisión de 115.000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Es cierto que la paja tienen un poder calorífico muy bajo, con lo cual es necesaria gran cantidad de material para conseguir estas cifras. Concretamente, serán necesarias 100.000 toneladas de paja las necesarias.

Hay una planta en Sangüesa, que dispone de 25 MW propiedad de Acciona. Su fecha de creación fue el año 2002.

También el grupo Acciona está preparando otra central en León, que dispondrá de 25 MW, producirá 200 millones de kWh al año y quemará 175.000 toneladas de biomasa anual. En este caso, el combustible no será sólo paja.

Por otro lado, los residuos agrícolas no son la única biomasa que puede aprovecharse para producir electricidad. También, y sobre todo, tenemos los residuos forestales. Los residuos forestales son todas las plantas, ramitas y troncos secos que quedan en el bosque cuando a los árboles se les caen ramas o mueren. Ésta precisamente es una de las formas que tienen los incendios de extenderse: en España no se hace suficiente



limpieza forestal, por lo que el fuego se extiende fácilmente a través del bosque gracias a los residuos forestales sin recoger.

En Guadalajara han aprendido la lección después de que en 2005 muriesen 11 personas de un retén que intentaba apagar un gran fuego en la región. Como consecuencia. Desde entonces, se dice en la zona que 'el fuego forestal se apaga en invierno', haciendo referencia a la estación del año en la que se limpian los bosques. Como consecuencia de las gestiones realizadas por las instituciones de la provincia, Iberdrola abrirá una planta de biomasa de 2 MW en Corduente, que utilizará exclusivamente residuos procedentes de las limpiezas forestales.

En Allariz (Ourense) está situada una central que utiliza como materia prima los residuos forestales y tiene una potencia de 2,35 MW, esta central comenzó a funcionar en el año 1988.





### 3. Geotermia

La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que cabe destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc. Geotérmico viene del griego *geo*, "Tierra", y *thermos*, "calor"; literalmente "calor de la Tierra".

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas y se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.

A diferencia del resto de energías renovables cuyo origen es la radiación solar, ya sea de forma directa como la solar térmica y fotovoltaica o de forma indirecta como la eólica, hidroeléctrica y biomasa, la energía geotérmica proviene del calor interior de la Tierra; un calor que se alimenta, por un lado de la desintegración de isótopos radiactivos; y, por otro, de movimientos diferenciales entre las distintas capas que constituyen la Tierra y del calor latente de la cristalización del núcleo externo.

Considerando toda la superficie de la Tierra, la potencia geotérmica total que nos llega desde el interior es de  $4,2 \times 10^{12}$  J. Se trata de una cantidad inmensa de energía, pero solo una fracción de ella puede ser utilizada por la humanidad.

Podríamos decir entonces que la energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

Así, se denomina recurso geotérmico a la porción del calor que es desprendido desde el interior de la tierra y puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas. Se clasifican en función de la temperatura del fluido geotermal que determinarán sus usos y aplicaciones. Por tanto, el objetivo de la geotermia es el aprovechamiento de esa energía calorífica del interior de la tierra.

Los recursos geotérmicos de alta temperatura se aprovechan principalmente para la producción de electricidad, cuando se trata de yacimientos de alta temperatura (superiores a los 100-150°C). Cuando la temperatura del yacimiento no es suficiente para producir energía eléctrica sus principales aplicaciones son térmicas en los sectores industrial, servicios y residencial. En el caso de temperaturas por debajo de los 100°C puede hacerse un aprovechamiento directo o a través de bomba de calor geotérmica (calefacción y refrigeración). Cuando se trata de recursos de temperaturas muy bajas (por debajo de los 25°C) las posibilidades de uso están en la climatización y obtención de agua caliente.

Hasta ahora, la utilización de esta energía en el mundo ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas eran muy favorables. Pero los avances tecnológicos actuales en equipos y las mejoras en la prospección y perforación, permiten a la geotermia a día de hoy disponer de tecnología para la producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos de temperaturas notablemente inferiores a las que se precisaban años atrás y para la generación artificial de "yacimientos





estimulados” (EGS) en los que es precisa la intervención directa del hombre para la creación del yacimiento, lo que añade un gran potencial de futuro para la geotermia de alta temperatura.

La energía geotérmica es una forma, de aprovechamiento energético sostenible con presente y futuro, tanto desde el punto de vista de aprovisionamiento energético de elevadas garantías, como desde el punto de vista térmico, como alternativa de alta eficiencia energética frente a los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración

### **3.1 Energía Geotérmica: Alta Entalpía y Baja Entalpía**

La energía geotérmica la podemos diferenciar en dos tipos. La geotermia de alta entalpía y la geotermia de baja entalpía.

- La energía geotérmica con usos domésticos para generar calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria es la denominada geotermia de baja entalpía. En este caso, el calor que se aprovecha para la climatización se encuentra a muy poca profundidad, justo por debajo de la corteza terrestre.

La energía geotérmica de baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 metros de profundidad, a lo largo de todo el año.

Esta es la energía que la geotermia aprovecha para la climatización de los edificios, captándola a través de diferentes sistemas de intercambio de calor (o colectores). Desde estos colectores, el calor es transferido, a su vez, a las bombas geotérmicas, que actúan como intermediarias entre el sistema de intercambio con el subsuelo y el sistema de distribución, responsable de climatizar el conjunto del edificio. La geotermia permite tanto subministrar calefacción y agua caliente sanitaria como refrigeración, a través del proceso inverso, es decir, la transferencia del calor ambiental hacia el subsuelo.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50° e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de calor que en la actualidad ya proporciona 4.500 MWt de potencia instalada sólo en Europa.

- La energía geotérmica de alta entalpía es, aquella que normalmente se extrae de grandes profundidades. A diferencia de la de uso doméstico, esta variante de la geotermia no se usa para la climatización, sino para la generación de electricidad y calefacción de edificios.

La producción de energía eléctrica consta por un lado del subsuelo donde se desarrollan los sondeos o perforaciones, que tienen como objeto acceder hasta el



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

reservorio geotermal para extraer el calor a la superficie en forma de vapor a presión o de agua caliente; y por otro está la planta geotérmica, situada en la superficie y cuyo objetivo es la generación de electricidad a partir de la transformación del calor extraído del subsuelo en energía mecánica mediante un ciclo termodinámico.

La producción de calor directo consiste en el intercambio directo del calor del subsuelo con otro circuito secundario en superficie (red de distrito) que calienta de manera directa los edificios. El fluido de agua caliente sirve tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria. A través de un convertidor, se puede invertir el proceso generando frío en el verano.

La Geotermia de alta entalpía es una fuente de energía emergente en nuestro país y todavía se encuentra en fase de desarrollo.

Actualmente, sólo existen proyectos de aprovechamiento geotérmico para uso térmico en instalaciones balnearias, calefacción en invernaderos o para calefacción de viviendas, con una potencia instalada en el año 2006 de 22,3 MWt.

En cuanto al uso directo del calor, se están iniciando estudios de viabilidad para el desarrollo de redes de calor de distrito geotérmicas en Madrid donde se podría contar con una instalación de 8MW y una generación de 45.000 MWt útiles al año en 2010. La investigación llevada a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en los años 80, pone de manifiesto la existencia de zonas con potencial para albergar sistemas geotérmicos convencionales y sistemas geotérmicos estimulados susceptibles de ser aprovechados para producción de energía eléctrica.



### 3.2 Yacimientos Geotérmicos

Un recurso geotérmico es aquella parte de la energía geotérmica que puede ser utilizada por el hombre. Con las técnicas actuales de perforación y extracción de los fluidos geotérmicos, una gran parte del recurso no es todavía explotable por problemas técnicos de extracción, aunque, con los avances tecnológicos previsibles, lo puede ser en un futuro próximo.

El calor almacenado en el subsuelo se transporta a la superficie mediante agua almacenada en un acuífero y, según sea su temperatura y presión, esta puede estar en forma de vapor o de líquido o ser una mezcla de ambos.

Para que la energía pueda ser explotada deben presentarse unas condiciones geológicas determinadas y, en este caso, diremos que se trata de un yacimiento geotérmico. Las condiciones geológicas básicas son:

- Existencia de un flujo de calor elevado capaz de calentar suficientemente el agua o el vapor. Generalmente el flujo de calor elevado es consecuencia de una fuente de calor (intrusión ígnea joven) situada en la corteza superior (1-10 km).
- Presencia de una capa de alta porosidad y permeabilidad (acuífero), a una profundidad razonable (no muy superior a 1-2 km), que permita la acumulación y circulación de agua y/o vapor. Como el agua generalmente procede de la lluvia, se necesita una buena conexión entre el acuífero y la superficie con el fin de asegurar una recarga abundante.
- Una roca impermeable por encima del acuífero que actúe de cobertera e impida que el agua escape.

Según la temperatura del fluido los yacimientos pueden ser de:

- Alta entalpía, los de temperaturas superiores a 150 °C.
- Entalpía media, entre 100 y 150 °C.
- Baja entalpía cuando la temperatura del fluido es inferior a 100 °C.

En los yacimientos de alta entalpía, el fluido sale generalmente en forma de vapor (ya sea seco o húmedo) y es fácil utilizarlo para la obtención de energía eléctrica en turbinas de vapor en una central, desde donde se transporta a los puntos de demanda propia de electricidad o se vierte a la red pública de transporte y distribución.

Las plantas convencionales de electricidad se limitan a temperaturas del fluido por encima de 150 °C (aunque en sistemas de ciclos binarios pueden utilizarse fluidos a temperaturas superiores a 85 °C).

En los yacimientos de baja entalpía no es viable el transporte de la energía geotérmica a gran distancia, por lo que solo son utilizables si los centros de consumo están cerca de la explotación. Las aplicaciones de la energía de baja entalpía son principalmente de uso doméstico, industrial y agrícola.



### **Clasificación de los yacimientos:**

Hemos comentado las condiciones básicas que cumplen muchos de los yacimientos que actualmente se conocen; sin embargo, algunos de estos requisitos pueden variar mucho de un yacimiento a otro, e incluso no cumplirse completamente.

Así por ejemplo, aunque un elemento básico es la presencia de agua, existen zonas con flujo de calor muy elevado pero donde no hay una capa suficientemente permeable que permita el almacenamiento y circulación de agua; en este caso puede fracturarse la roca artificialmente, mediante una carga explosiva y facilitar así la circulación del agua. En determinadas circunstancias también es posible inyectar agua desde la superficie para después de ser calentada, extraerla y aprovechar su energía. En otros casos, no existe una intrusión ígnea directa y, aunque el flujo geotérmico es el normal, se dan unas determinadas condiciones geológicas que facilitan la circulación de agua a gran profundidad (varios kilómetros). De esta manera, el agua alcanza temperaturas suficientemente elevadas que pueden hacer rentables su explotación.

Así pues, existe una gran variedad de yacimientos según las particularidades propias de cada uno y es por tanto difícil establecer una clasificación en la que todos se vean incluidos.

Podemos establecer la siguiente clasificación para los distintos tipos de yacimientos:

- Yacimientos hidrotermicos en los que la fase predominantes es el vapor; estos a su vez se dividen en yacimientos de vapor húmedo, si hay un porcentaje de humedad, y yacimientos de vapor seco, si el vapor es seco.
- Yacimientos hidrotermicos con predominio de agua en fase liquida o simplemente yacimientos de agua caliente.
- Yacimientos en cuencas sedimentarias profundas, que son un caso particular de las anteriores.
- Yacimientos geopresurizados.
- Yacimientos de roca caliente seca.

#### **3.2.1 Yacimiento hidrotermico con predominio de vapor.**

Muchos de los yacimientos geotérmicos que actualmente se explotan contienen agua a presión y temperaturas elevadas en el acuífero (ocasionalmente hasta 300 °C). Se trata de yacimientos de alta entalpía, útiles para producción de electricidad. Generalmente estos yacimientos llevan asociadas manifestaciones en la superficie, como géiseres, manantiales termales, fumarolas, etc. Cuando el agua es transportada a la superficie, la presión disminuye bruscamente y se genera una gran cantidad de vapor. En la superficie se tiene una mezcla de líquido y vapor que se lleva a un separador de fases para que el vapor seco pueda alimentar una turbina. Se denominan yacimientos de vapor húmedo por la presencia de agua en el cabezal del pozo.

Un ejemplo de este tipo de yacimientos son los de Cerro Prieto (México), Reykjanes (Islandia), Otake (Japón) y Wairakei (Nueva Zelanda).



Si, para la presión del yacimiento, la temperatura es superior a la de saturación correspondiente, tendremos vapor sobrecalentado sin contenido en agua líquida. Son los yacimientos de vapor seco que se caracterizan por unas condiciones termodinámicas próximas a las de máxima entalpía del vapor saturado ( $670 \text{ Kcal/kg}$  a  $31.8 \text{ Kg/cm}^2$  y  $236 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y permiten obtener mejores rendimientos en las turbinas generadoras de electricidad.

En los yacimientos hidrotermicos con predominio de vapor concurren todas las condiciones geológicas que se han enunciado anteriormente: una intrusión ígnea como fuente de calor, un acuífero con buena recarga y una capa impermeable por encima del acuífero.

- Fuente de calor: Generalmente estos almacenes se encuentran en regiones de volcanismo reciente y por tanto la fuente de calor es magma que puede estar a  $700 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , situado a solo a solo algunos kilómetros de la superficie. Las intrusiones magmáticas ocurren en zonas de límites de placas, puntos calientes y zonas de fuerte adelgazamiento litosferico con presencia de fallas que favorezcan la ascensión del magma. Existen determinadas estructuras en zonas con fuerte actividad tectónica como los graben (bloques hundidos y limitados por fallas normales) que son consecuencia de un régimen de esfuerzo distensivo y, por tanto, con probable adelgazamiento litosferico. El magma se encuentra por tanto más cerca de la superficie y además puede ascender por las fallas.
- Acuífero: Por encima de la fuente de calor, en la capa permeable (acuífero), se producen corrientes de convección del agua caliente o de vapor, de manera que hay una homogeneización de la temperatura entre el techo y la base del acuífero. Generalmente, la formación permeable debe aflorar o tener una buena conexión hidráulica con la superficie para permitir la entrada de agua meteórica. En caso contrario se necesita una conexión mediante un sistema de fallas por donde el agua pueda infiltrarse en cantidad suficiente desde la superficie. Existe una gran variedad de formaciones de roca permeables. En Larderello (Italia), por ejemplo, las rocas que constituyen el acuífero son calizas fracturadas y dolomías, en "The Geysers" (USA) se trata de grauvaca fisurada en Cerro Prieto (México) son arenas deltaicas y en Wairakei (Nueva Zelanda) consisten en brechas pumíticas y lapilli.
- Capa impermeable: Sobre el acuífero tiene que haber una capa impermeable que mantenga el agua atrapada. Para evitar que el calor se pierda por convección no debe haber fisuras en la capa impermeable, lo cual a veces resulta difícil en una zona con actividad volcánica, puesto que los movimientos tectónicos asociados al propio volcanismo puede provocar fisuras y producir un aumento de la permeabilidad. Por otra parte, las alteraciones hidrotermales de las rocas y la precipitación de minerales pueden favorecer el sellado de las fisuras de los materiales más superficiales.

### **3.2.2 Yacimiento hidrotermico con predominio de agua en fase liquida o simplemente yacimientos de agua caliente.**

Cuando la temperatura del agua no llega a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  o es algo superior y se encuentra a 1-3 kilómetros de profundidad, la fase dominante es siempre agua en estado líquido, y las condiciones geológicas son similares a las del agua subterránea fría. Se trata de



yacimientos de baja entalpía. Estos yacimientos son menos espectaculares que los anteriores porque no llevan asociadas manifestaciones superficiales. Sin embargo, las zonas donde pueden hallarse son mucho más extensas que los sistemas asociados a volcanismo.

El esquema de un yacimiento de estas características es similar al de fase de vapor dominante húmedo, con la única diferencia de que ahora es el agua líquida la que controla su comportamiento termodinámico. En este caso no es necesaria la presencia de una capa superior impermeable que mantenga el calor y la presión en el acuífero. No obstante, es preciso que la profundidad a la que se encuentra el acuífero y el gradiente de temperatura sean los adecuados para permitir una circulación convectiva. Cuando no hay la capa impermeable, la temperatura del techo del acuífero debe ser inferior al punto de ebullición a presión atmosférica, de lo contrario se produciría una evaporación hacia la superficie. Estos yacimientos se encuentran en diversos entornos geológicos con predominio de vapor pero en los que la fuente de calor es de menor intensidad. Así pueden encontrarse en zonas de volcanismo y tectónica joven cenozoica (de menos de 60 millones de años), en zonas de adelgazamiento litosférico y también en zonas con elevada concentración de isótopos radioactivos. También puede darse en cuencas sedimentarias profundas con temperaturas más bajas.

A diferencia de los yacimientos con predominio de vapor, la presión no es suficiente para elevar el agua hasta la superficie y se requiere la utilización de bombas sumergibles en los pozos de extracción. La excepción la constituyen los acuíferos artesianos o geopresurizados.

Existen muchas diferencias en este tipo de yacimientos, por lo que es difícil de establecer una recopilación a modo de clasificación; cada uno presenta unas singularidades propias.

En muchos casos se utiliza el doblete geotérmico que consiste en perforar dos pozos: uno de extracción y otro de reinyección, situado a cierta distancia del primero, que se utiliza para devolver el agua al acuífero una vez utilizada su energía térmica. Es aconsejable utilizar el doblete cuando el agua es muy salina. De esta manera se consigue preservar el medio ambiente y se mantienen la recarga y la presión en el acuífero.

### **3.2.3 Yacimiento en cuenca sedimentaria.**

Se trata de extensos acuíferos muy profundos ubicados en cuencas sedimentarias. Aunque el gradiente geotérmico sea normal ( $0.03\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ ), su interés radica en la presencia de una formación de elevada porosidad y permeabilidad situada a gran profundidad. Este gradiente significa que a 2 kilómetros de profundidad la temperatura es al menos de  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Evidentemente no se trata de agua capaz de producir electricidad, pero se puede utilizar para calefacción y fines industriales.

Uno de los ejemplos más conocidos es la cuenca de París en Francia, en la que se utiliza el calor para la calefacción de hogares y suministro de agua caliente a núcleos residenciales. La potencia instalada en este caso es de 295 MW y la producción anual 4434 TJ, con un caudal promedio de  $100\text{ m}^3/\text{h}$  a una temperatura de entre  $58\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $83\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Otro ejemplo es el de la Cuenca Panonica en Hungría. En este caso se trata de una cuenca situada entre cordilleras de edad alpina y rellena de los materiales procedentes de la erosión de las montañas circundantes. Aquí el flujo es relativamente alto, un promedio de  $100 \text{ mW/m}^2$ , lo que supone un gradiente de  $0.05\text{-}0.06 \text{ }^\circ\text{C/m}$ .

En general, en este tipo de yacimientos, el agua caliente transmite calor al agua de un circuito secundario de distribución de calor y después se inyecta de nuevo al acuífero a una temperatura de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  (doblete geotérmico). La distancia entre los pozos de producción y de inyección suele ser de 1 kilómetro.

### **3.2.4 Yacimiento geopresurizado.**

Es un caso articular de almacén geotérmico en cuenca sedimentaria cuando el agua contenida en el acuífero está sometida a grandes presiones.

Aunque pueden estar en contextos de cualquier edad, se encuentran generalmente en rocas de edad mesozoica (menos de 200 millones de años) y cenozoica (menos de 60 millones de años). Estos yacimientos aparecen en áreas de gradiente geotérmico normal (no superior a  $0.03 \text{ }^\circ\text{C/m}$ ), pero se encuentran a profundidades de 6000 m o mas y por tanto a temperaturas superiores a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . La principal característica es que los acuíferos contienen agua (que puede ser congénita) caliente, a presiones entre el 40% y el 90% superiores a la presión hidrostática que corresponde a la profundidad a la que se encuentra.

La sobrepresión es debida a diferentes causas, tal como, por ejemplo, la ocasionada por la carga debida a la potente sedimentación que compacta la formación permeable. La presión del agua puede aumentar considerablemente si existe una formación impermeable por encima que permita su migración. El agua contribuiría a soportar parcialmente la carga del peso del material superior y evitaría así la compactación total del acuífero. La presión de los poros es entonces intermedia entre la presión hidrostática y la litostática. Un pozo en el Golfo de México de 4900 metros de profundidad tenía una presión de 871 atm, dando en el cabezal del pozo una presión de 439 atm, lo que representa un exceso del 95% del valor hidrostático.

Estos yacimientos pueden producir también energía hidráulica aprovechando este exceso de presión para mover una turbina. Los yacimientos geopresurizados llevan asociados tres tipos de energía: la geotérmica, la hidráulica debido a la elevada presión y la química por el elevado contenido en gas metano que habitualmente llevan asociados. Muchos de estos acuíferos se descubren por casualidad en la exploración petrolífera rutinaria.

### **3.2.5 Yacimiento de roca caliente seca (HDR)**

Está formado por rocas impermeables sin contenido en agua pero que se encuentran a temperatura elevada mas de ( $190^\circ\text{C}$ ). En determinadas circunstancias pueden realizarse fracturas de forma artificial mediante fracturación hidráulica o mediante explosivos y se inyecta agua, procurando que alcance la mayor superficie posible de roca caliente. Cuando ya existe un cierto grado de permeabilidad natural se denominan yacimientos de roca caliente húmeda (HWR).





Se utilizan técnicas para conocer el estado de esfuerzos en la roca y así realizar la fracturación artificial en la misma dirección. De esta forma se aprovechan las fracturas naturales que previamente existen y se mejora el grado de conexión entre las mismas. La explotación de este tipo de acuífero no es todavía suficientemente rentable por los numerosos problemas técnicos aun por resolver. E general, el origen de estos yacimientos está asociado a: una intrusión magmática en áreas volcánicas, generalmente con volcanismo ácido; una zona de fuerte adelgazamiento litosférico con formación de estructuras tipo graben y a un plutón de elevada generación de calor por desintegración de isótopos radioactivos.

En Rosemanowes (Reino Unido) el yacimiento se sitúa en un gran batolito granítico. El calor se estima que proviene exclusivamente de la desintegración de isótopos de elementos radioactivos contenidos en el granito. En Hijiori (Japón) está localizado en el margen sur de la caldera de Hijiori, que se formó hace 10.000 años. La caldera tiene un diámetro de 2 kilómetros y un espesor de 1500 metros por encima de la roca granodiorita caliente. En Soultz (Francia), se sitúa en la parte occidental del graben del Rin, cerca del campo petrolífero de Pechelbron, en una zona de temperatura elevada de 120 x 150 kilómetros de extensión.

La roca caliente es un plutón de granito situado a una profundidad de 1400 metros, por debajo de sedimentos terciarios y mesozoicos.



### 3.3 Utilización de los recursos geotérmicos

La utilización de electricidad es la forma de utilización más importante de los recursos geotérmicos de alta temperatura (superiores a 150 °C). Los recursos de temperatura media o baja son apropiados para muchos tipos diferentes de utilización.

En el siguiente diagrama se muestran los posibles usos de los fluidos geotérmicos según su temperatura:

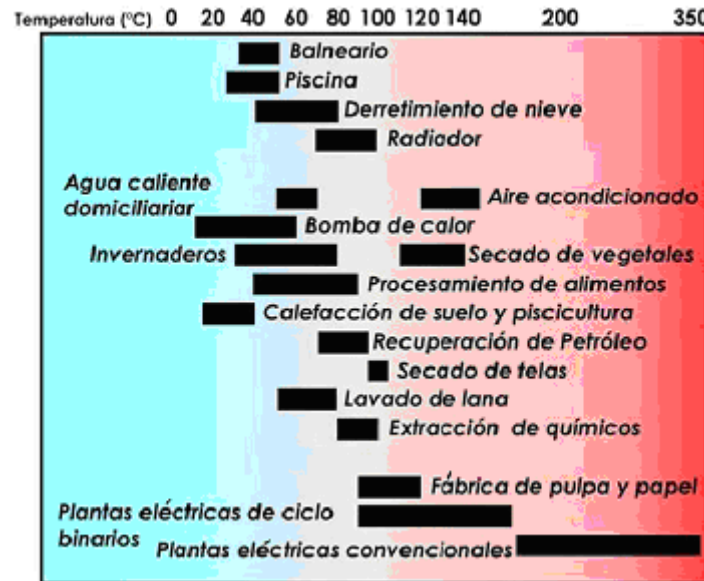


Figura 13. Usos de los fluidos geotérmicos según su temperatura.

El límite inferior de 20 °C está solamente sobrepasado por el uso de bombas de calor geotérmicas.

Los diseños existentes actualmente para procesos termales, pueden sin embargo modificarse para ampliar el campo de aplicación de ciertos recursos geotérmicos.

Continuamente se está avanzando en la tecnología geotérmica, con tal de obtener más rentabilidad y potencia de un yacimiento. Para este tema, se ha optado por comentar las tecnologías más actuales según el tipo de uso que se le vaya a dar a la energía.

#### 3.3.1 Generación de energía

Los yacimientos geotérmicos de alta entalpía (también algunos de media entalpía), como ya se ha dicho anteriormente, pueden aprovecharse para generar electricidad mediante un ciclo de potencia semejante al utilizado en las centrales termoeléctricas convencionales: equipo de producción de vapor, grupo turbo-alternador y condensador.

La generación comercial de electricidad a partir de la energía geotérmica comenzó en el 1914 en Larderello, con una central de 250 KW de potencia. Desde entonces, el gran avance tecnológico en este ámbito ha hecho que fuese posible llegar a una capacidad de



generación de hasta los 9000 MW a nivel mundial en el 2005, siendo el máximo productor Estados Unidos.

A continuación vamos a explicar cómo funcionan las centrales geotérmicas y los diferentes tipos que existen.

### **Centrales Geotérmicas.**

Una vez que hemos explicado los distintos tipos de yacimientos geotérmicos existentes debemos explicar cómo se utiliza la geotermia para producir energía eléctrica y cómo funcionan las centrales donde se lleva a cabo tal labor.

El ciclo productor de energía se divide en tres fases: Captación y procesamiento del vapor de agua por medio de sondeos, captación y calentamiento del agua y, por último, producción de electricidad.

Primeramente, una vez que disponemos de pozos de explotación, normalmente perforaciones practicadas a gran profundidad sobre la corteza terrestre de unos 5 kilómetros de profundidad, en las que podemos obtener una temperatura mínima de 150° C, y en la cual se han introducido dos tubos en circuito cerrado en contacto directo con la fuente de calor, extraemos el fluido geotérmico que como hemos comentado antes, consiste en una combinación de vapor, agua y otros materiales. Éste vapor es conducido hacia la planta geotérmica donde debe ser tratado. Primero pasa por un separador de donde sale el vapor, la salmuera y los líquidos de condensación y arrastre, que son una combinación de agua y materiales. Este último elemento (agua de condensación y arrastre) se envía a los pozos de reinyección para que no se agote el yacimiento geotérmico. El exceso de vapor se elimina mediante una chimenea de escape.

La segunda fase se produce solo en las que usan agua líquida para producir energía, en ella se usan intercambiadores de calor para precalentar agua fría y poder mezclarla para su uso final.

Por último el vapor, continúa su camino hacia las turbinas, que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica. Después de la turbina el vapor es condensado y enfriado en torres y lagunas.

La energía geotérmica es un complemento ideal para las plantas hidroeléctricas ya que el flujo de producción de energía es constante a lo largo del año debido a que no depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, etc.

Tenemos que tener en cuenta un factor muy importante para poder usar el agua de los pozos geotérmicos, ya que el agua fría está saturada de oxígeno disuelto, un potente agente corrosivo del acero, por lo que debe eliminarse. Para ello, el agua se envía a un degasificador en el que un proceso de ebullición a baja presión libera el oxígeno y otros gases disueltos. Durante este proceso, el agua puede tener una temperatura de unos 82-85 °C.



Además se introduce en el agua una cantidad muy pequeña de vapor con gases ácidos para eliminar las últimas trazas de oxígeno disuelto y bajar el pH del agua para evitar la precipitación de sustancias en los sistemas de distribución. Una pequeña cantidad de  $H_2S$  sirve para eliminar del todo el oxígeno que haya podido disolverse en el agua durante su confinamiento en los depósitos. Asimismo, esta sustancia añade al agua un olor agradable.

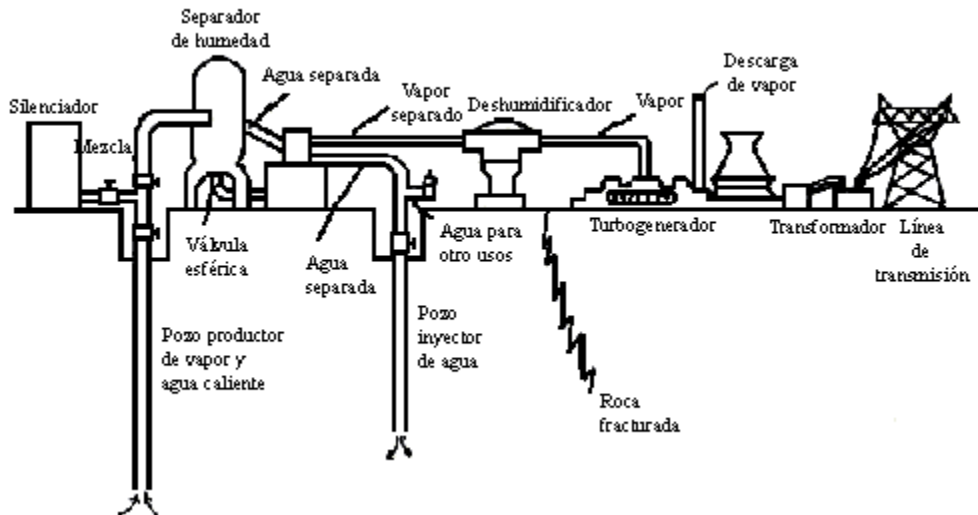


Figura 14. Esquema de una central geotérmica típica.

Las perforaciones modernas en los sistemas geotérmicos alcanzan reservas de agua y de vapor, calentados por magma mucho más profundo, que se encuentran hasta los 3.000 metros bajo el nivel del mar. El vapor se purifica en la boca del pozo antes de ser transportado en tubos grandes y aislados hasta las turbinas. La energía térmica puede obtenerse también a partir de géiseres y de grietas.

Los sistemas geotérmicos producen un rendimiento mayor con respecto a otros sistemas, y además tienen un costo de mantenimiento menor. De hecho, la única pieza móvil de una central geotérmica es el sistema de turbina-generator, y por tanto todo el conjunto tiene una vida útil más larga.

Hay un detalle a tener en cuenta si queremos diseñar una central geotérmica y es que estas centrales están pensadas fundamentalmente para aplicaciones que no requieran un suministro de energía a gran escala porque debido a las características geotérmicas de las rocas que al contrario de lo que sucede con los metales, las rocas o la arena no tienen capacidad conductora del calor, Es decir, la conservan, por eso si se utilizase una central geotérmica con intención de producir energía a gran escala llegaría un momento en que el proceso se detendría. El motivo, es que la sima del interior de la corteza terrestre donde está el calor aprovechable se va enfriando progresivamente conforme se le inyecta agua fría, y si el régimen de inyección es alto llegará un momento en que la sima ha cedido más calor del que puede recuperar, precisamente por su baja capacidad de conducir la temperatura. Este inconveniente impide el funcionamiento continuo de la



central, deteniéndose a determinados intervalos hasta que la roca recupera una temperatura suficiente para reanudar el funcionamiento normal.

En algunas regiones de la tierra este inconveniente no se produce, porque las altas temperaturas están casi a flor de tierra, lo que permite extender tuberías en horizontal, en vez de en vertical, garantizándose que la recuperación de la temperatura de la roca o de la arena se realice casi a la par que su enfriamiento.

### **Tipos de centrales geotérmicas.**

Todas las centrales eléctricas geotérmicas basan su funcionamiento en la turbina de vapor y el ciclo de Rankine y, dentro de las múltiples posibilidades, adoptan la tecnología más adecuada al recurso energético disponible, en las condiciones de la boca del pozo, a fin de optimizar el aprovechamiento de la energía disponible y la inversión económica. La inmensa mayoría de centrales existentes en el mundo pueden verse incluidas en uno de los siguientes grupos explicados a continuación:

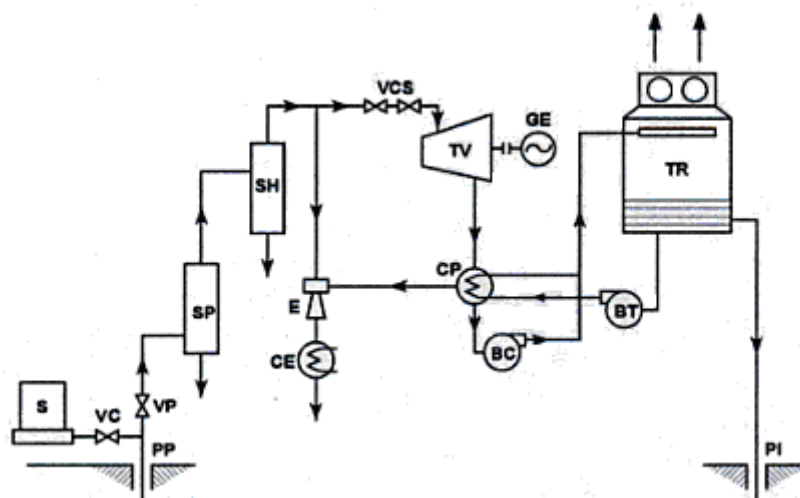
#### **- Centrales de Conversión Directa, llamadas centrales de vapor seco:**

Primero tenemos las centrales de vapor, este tipo de plantas fueron de las primeras que se pusieron en funcionamiento.

Estas centrales se construyen cerca de yacimientos de vapor seco. Como hemos explicado con anterioridad cuando un pozo suministra vapor en estado de saturación o bien ligeramente recalentado, suele decirse que produce vapor seco. Este vapor puede conducirse directamente a la turbina de vapor para generar electricidad.

Suele adoptarse este tipo de central cuando la temperatura es superior a los 200°C.

En la siguiente figura se puede ver un esquema típico de este tipo de centrales, donde se indican los equipos más importantes.



*Figura 15. Esquema de una central de vapor seco.*



La instalación de la boca del pozo de producción (PP) es común a todos los tipos de central excepto en las de ciclo combinado. Una derivación en T provista de una válvula de corte, que durante su funcionamiento normal estará cerrada, permite derivar en situación extraordinaria el vapor directamente a la atmosfera y otra válvula principal (VP), que durante el funcionamiento normal de la central estará totalmente abierta, permite el paso al resto de la instalación. Si el vapor excedente que soltamos a la atmosfera se descargara directamente generaría un nivel de ruido superior a los límites establecidos, por lo tanto para amortiguarlo, el vapor de pozo se descargara a la atmósfera a través de un silenciador (S) que reduce la molestia a niveles tolerables.

Debe tenerse en cuenta que el vapor que asciende por la tubería de extracción circula a una velocidad elevada; debido a ello es capaz de arrastrar pequeñas partículas de roca, arena más o menos gruesa, y gotas de agua que deben eliminarse para no dañar el resto de la instalación, por ello se instala primero un separador de partículas sólidas (SP) y a continuación un separador de gotas, denominado separador de humedad (SH).

Una vez que el vapor ha pasado por los distintos separadores y se encuentra limpio y seco, se transporta hasta la central propiamente dicha, mediante tuberías aisladas térmicamente. Si la potencia térmica disponible del pozo es elevada, puede instalarse la central eléctrica justo en la boca del mismo. Si la potencia disponible en el pozo es baja y está situada en un campo geotérmico extenso con la posibilidad de realizar varias perforaciones de extracción, varios pozos pueden alimentar una central única de mayor potencia y de esta forma, mejorar el comportamiento del sistema.

Cuando varios pozos alimentan una central única, a pesar de que dicha central se sitúe en el centro de la zona, cubren un área realmente extensa de terreno, con lo cual, la distancia entre ella y la cabecera de cada uno de los pozos es importante. En este caso, debe preverse la dilatación de los tramos largos de tubería, instalando tiras de dilatación o compensadores, y la eliminación del vapor que condensa, instalando válvulas de purga de condensados (estos elementos no se encuentran representados en el esquema anteriormente descrito). Además, la tubería que transporta el vapor, desde aislarse térmicamente a fin de reducir al máximo las pérdidas por disipación de calor al exterior.

Continuando con el camino del vapor hasta la turbina, nos encontramos con una derivación que se dirige a un eyector (E) y una corriente principal que se conduce a la turbina, que se alimenta a través de las válvulas de control y seguridad (VCS). La turbina de condensación (TV) arrastra al generador de electricidad (GE) y descarga la mezcla liquido-vapor al condensador principal (CP).

Para unas condiciones dadas del vapor a la entrada de la turbina, la potencia generada depende de las condiciones del mismo a la salida, de forma tal que, cuanto mayor sea el salto entálpico en la turbina, mayor será la energía extraída por unidad de masa de vapor turbinado.

Como la presión de saturación es función de la temperatura del condensador, interesa que este trabaje a la temperatura menor posible y deberá mantenerse esta baja presión (menor que la atmosférica), mediante una bomba o cualquier otro equipo equivalente. Por ejemplo, si la temperatura de retorno, del agua de la torre de refrigeración, es de 35°C y admitimos un salto de 5 grados entre ella y la mezcla liquido-vapor expulsada por la turbina, la temperatura del condensador será de 40°C y la presión 0.074 bares.



Existen distintos medios para mantener esta depresión: eyector de vapor, bomba de vacío, presión hidrostática y recompresión de vapores.

El agua geotérmica contiene una cantidad sensible de gases disueltos, puede aceptarse un 2% en peso como valor típico que deben eliminarse para asegurar el correcto funcionamiento de la planta y evitar su emisión a la atmósfera. Téngase en cuenta que el ácido sulfhídrico suele ser un componente habitual y que es altamente venenoso aun en pequeñas concentraciones.

En el caso que estamos definiendo como es el que aparece esquema de la central de vapor, la depresión del condensador se consigue mediante el eyector (E), que consume parte del vapor procedente del pozo y que descarga a un condensador auxiliar (CE) refrigerando con agua fresca.

Como agua de torre de refrigeración, en las centrales termoeléctricas convencionales, se utiliza agua procedente de algún acuífero cercano. En el caso de centrales geotérmicas, dado que se dispone de agua abundante procedente del pozo, toda el agua condensada se lleva a la torre de refrigeración, una parte se utiliza para refrigerar el condensador y el resto se reinyecta al acuífero; de esta forma se ahorra agua limpia y fresca superficial.

A fin de retardar el agotamiento del recurso geotérmico y evitar la contaminación de aguas superficiales por vertido de agua geotérmica con alto contenido en sales, se cierra el ciclo devolviendo el agua al acuífero geotérmico, agua que se bombea a través del pozo de inyección (PI), que también puede denominarse pozo de reinyección.

Esta tecnología se utiliza, por ejemplo, en Larderello (Italia) y The Geysers (EEUU).

#### **- Mezcla de vapor y líquido o centrales de flujo total:**

Estos yacimientos geotérmicos son los más difíciles de explotar, dado que el agua contiene sales disueltas y forma una mezcla llamada salmuera. Esto ocasiona grandes problemas de corrosión en las instalaciones geotérmicas, que deben resolver los ingenieros geotérmicos, si quieren que una planta sea duradera.

Estas centrales funcionan con una mezcla de líquido y vapor.

La mezcla es llevada directamente hasta las turbinas que están diseñadas para trabajar con esa mezcla. Después de dejar su energía en la turbina, el fluido es condensado y reinyectado en el yacimiento para su regeneración.

Tienen un mayor rendimiento, pero presentan problemas debidos a las incrustaciones y a los gases no condensables que el fluido geotérmico lleva disueltos.



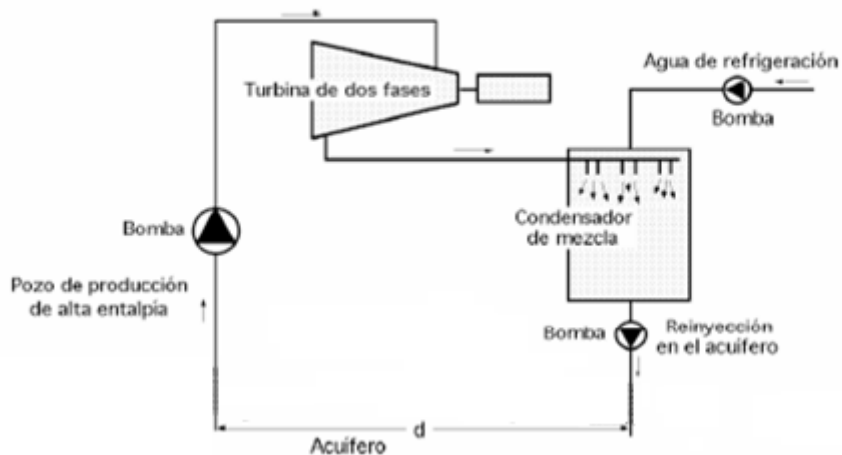


Figura 16. Esquema de una central de flujo total.

### - Centrales de Flash simple:

Las centrales descritas anteriormente, solamente pueden utilizarse en los campos geotérmicos de muy alta entalpía, en los que llega a la superficie vapor seco o casi seco; en la mayoría de los yacimientos de alta entalpía, el fluido que llega a la superficie es una mezcla vapor-líquido a una presión que depende del pozo y a la temperatura correspondiente al estado de saturación (el estado de saturación se averigua mediante las tablas termodinámicas de vapor saturado).

Estos yacimientos suelen tener una presión en la cabeza del pozo baja y el porcentaje de vapor respecto al total de la mezcla suele estar situado alrededor del 30%. En estas condiciones, esta mezcla no puede conducirse directamente a la turbina, puesto que éstas no están diseñadas para trabajar con este tipo de vapor. Esto hace necesario la separación entre el vapor y el líquido. La fracción de vapor conseguida se conduce por la turbina y la líquida se reinyecta. Para efectuar esta separación, se utiliza un separador ciclónico, cámara de flash (CF), que aprovecha la diferencia de densidades entre ambas fracciones.

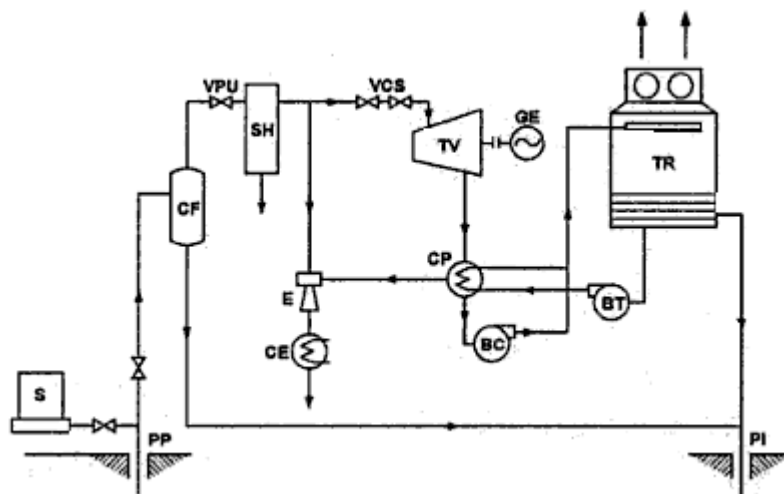


Figura 17. Esquema de una central de flash simple.



El agua geotérmica está a más de 210 °C y se expansiona en una etapa de evaporación flash, parte de la misma se vaporiza y es conducida a la turbina mediante un separador de vapor. Las líneas de transmisión de vapor son del mismo tipo a las usadas en las plantas de vapor seco. La diferencia principal radica en la cantidad de líquido a utilizar. Mientras que en las de flash simple se produce cerca de 630 kg/s de líquido, en las de conversión directa se produce solamente 20 kg/s.

#### - Centrales de Flash doble:

Este tipo de centrales son una derivación de las centrales de flash simple. Cuando la presión del agua en la cabecera del pozo es elevada, se puede aumentarse la capacidad de generar energía del recurso mediante este tipo de centrales. En muchos casos, la mejor utilización del recurso geotérmico compensa el coste más elevado de instalación, siempre tenemos que tener en cuenta la demanda que hay que abastecer.

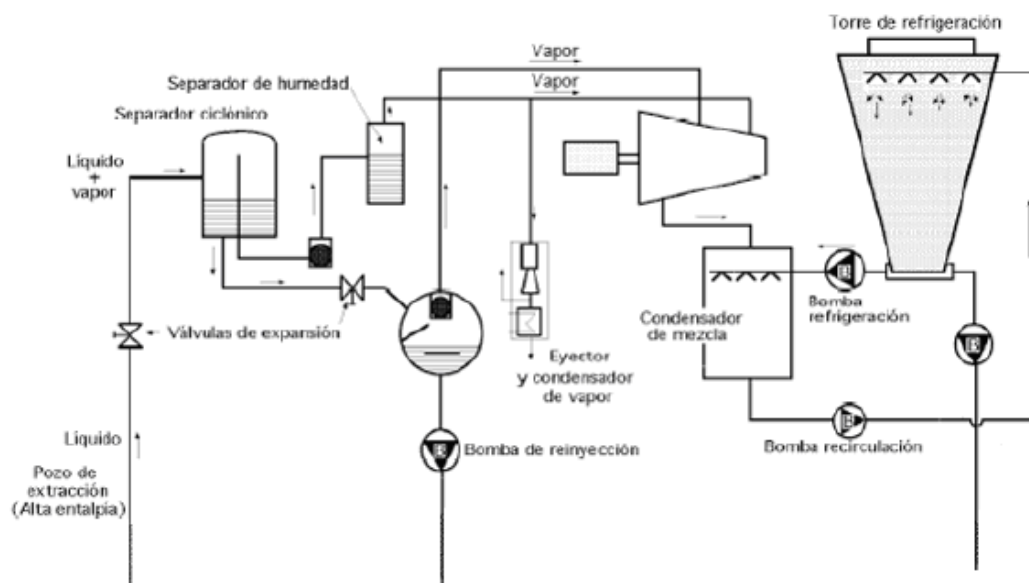


Figura 18. Esquema de una central de flash doble.

Este sistema es muy parecido al anterior con la única diferencia de que, en este caso, se instalan dos cámaras de flash y la turbina es de dos etapas, de esta forma se consigue un mejor aprovechamiento del potencial geotérmico del recurso (aumenta el rendimiento en más de un 35%).

#### - Central binaria:

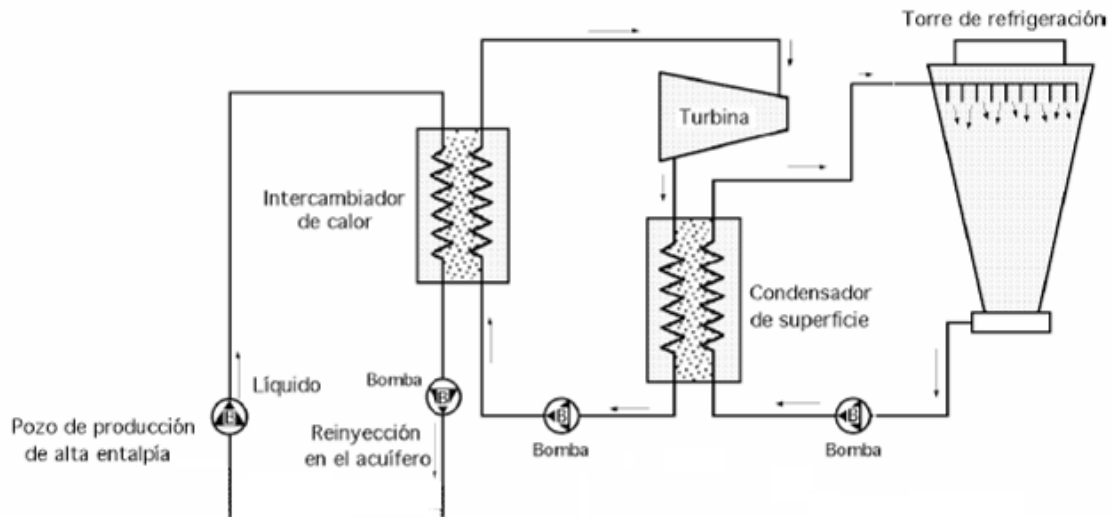
La posibilidad de extraer energía del recurso geotérmico, utilizando las tecnologías explicadas anteriormente, depende básicamente de la temperatura del recurso, puesto que la temperatura del condensador viene fijada por el agua de retorno de la torre de refrigeración. A medida que ambas temperaturas se acercan, la energía extraíble por kilogramo vapor disminuye.

Además, algunos pozos proporcionan agua con una concentración de sales demasiado elevada, que hace que no se pueda utilizar una turbina habitual debido a los



riesgos de oxidación, incrustaciones o exceso de gases disueltos. Todos estos factores que suponen un coste extra, hacen inviable su utilización.

Para paliar estos efectos, se adopta la tecnología de ciclo binario, que hace viables recursos geotérmicos a 150°C o algo menores, incluso con altas concentraciones de gases y sales disueltos. Se basa en evitar el uso directo del agua termal y utilizar un fluido de trabajo, distinto del agua, que tenga un comportamiento termodinámico que se acomode mejor a nuestros deseos.



*Figura 19. Esquema de una central binaria.*

En realidad se trata de un ciclo de Rankine en el que el recurso geotérmico (circuito primario) aporta calor al fluido de trabajo del circuito de potencia (circuito secundario), a través de un intercambiador de calor. Interesa que el fluido de trabajo del circuito secundario tenga unas propiedades termodinámicas que se adapten bien al rango de temperaturas de trabajo, alrededor de los 150°C para la fuente caliente y alrededor de los 35°C para el sumidero térmico; los fluidos más utilizados son el propano, n-butano, isobutano, isopentano y el refrigerante R-114.

El agua geotérmica se extrae del pozo mediante una bomba que, si la presión del pozo es insuficiente, debe trabajar sumergida a fin de evitar problemas de cavitación. Todo el circuito primario está presurizado, a fin de minimizar la posibilidad de vaporización y separación de gases disueltos y el agua permanece en estado líquido a lo largo de todo el circuito.

La energía térmica del fluido geotérmico se transfiere por medio de un intercambiador de calor a un fluido de trabajo secundario para su posterior uso convencional. El fluido de trabajo óptimo será aquel que, por sus propiedades termodinámicas, proporcione una mayor eficiencia. Este segundo fluido se convierte en vapor, activa la turbina y genera electricidad. El vapor, luego de haber movido las turbinas, se condensa y vuelve a ser reutilizado (ciclo cerrado).

Según los expertos, este sistema es el que tiene más futuro debido a varios factores:



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

- Estas plantas son adecuadas para conformar módulos de 1 MW por unidad, para su rápida instalación. El diseño de este tipo de plantas permite interconectar varias en el lugar del yacimiento, permitiendo ajustarse al recurso.
- La inversión requerida no es elevada.
- Pueden trabajar en islas, debido a su flexibilidad, alimentando a un pequeño grupo de consumidores.
- Actualmente, la mayor parte de yacimientos existentes son de media y baja entalpía.

#### **- Central híbrida:**

Los fluidos geotérmicos tienen un amplio rango de propiedades físicas tales como temperatura, presión, presencia de gases no condensables, sólidos disueltos, pH, potencial de corrosión, etc. Es por ello que existe una gran variedad de sistemas de conversión de energía que se han ido desarrollando para adaptarse a estas condiciones particulares.

Los sistemas descritos anteriormente se pueden combinar para lograr sistemas más efectivos, dando lugar a diversos tipos de plantas híbridas: centrales de conversión directa / binarias, de flash simple / binarias, sistema híbrido de energía fósil y geotérmica, etc.

#### **Rendimiento de las Centrales:**

A lo largo del siglo XX, las técnicas que se han ido introduciendo para mejorar el rendimiento de las instalaciones, han evolucionado en las siguientes fases:

- Corrosión de los álabes de las turbinas, lo que implicó una mejora en la calidad de los materiales utilizados en su construcción, observándose que este fenómeno de corrosión iba asociado directamente a la excesiva velocidad que alcanzaban estas máquinas en determinadas circunstancias.
- Para hacer funcionar las máquinas térmicas se comenzaron a utilizar intercambiadores de calor, con el fluido geotérmico en el circuito primario, y utilizando agua pura en el circuito secundario. Posteriormente se volvió a la utilización directa del vapor geotérmico natural en las turbinas, lo que obligó a mejorar la calidad de los materiales de los álabes de las turbinas.
- Se introdujo el condensador, pero en algunas instalaciones se ha prescindido de él, compensando su coste con una ligera pérdida en el rendimiento.

Para evaluar el funcionamiento de los sistemas de energía en plantas energéticas convencionales se utiliza el Segundo Principio de la Termodinámica, que hace uso de los conceptos de trabajo y energía disponible. Cuando se comparan plantas binarias con las de tipo directo ("direct steam"), se observa un incremento del consumo específico del fluido geotérmico. Se puede observar que las plantas de tipo directo operan con unas eficiencias del orden del 50 al 70%.

En las plantas binarias de pequeño tamaño, el coste del capital por KW varía inversamente con la temperatura y la potencia. En cambio, los costes de operación y



mantenimiento anuales aumentan con la potencia y son independientes de la temperatura del fluido en el campo de estudio. Estos costes son mucho mejores cuando son comparados con otras energías renovables y, según el tipo de planta, más reducidos en comparación con las plantas térmicas habituales.

La geotermia se caracteriza por unos gastos de inversión iniciales elevados, al contrario que las plantas térmicas clásicas, y por unos costes de funcionamiento y mantenimiento más económicos.

Los costes asociados a la construcción y operación de una planta geotérmica dependen de los siguientes factores:

- Tipo de recurso (vapor o agua caliente).
- Temperatura del recurso.
- Productividad del yacimiento.
- Tamaño de la planta (caudal).
- Tipo de planta (single flash, binario...).
- Reglamentación ambiental.
- Costes de inversión y mano de obra.

Los tres primeros factores son un indicativo del número de pozos que es necesario perforar para soportar la capacidad de la planta (un pozo puede llegar a costar entre 200 y 700 €/KW). Los tres factores siguientes determinan el coste de capital del sistema de conversión de energía. El último afecta al coste de funcionamiento de la planta.

Es conveniente hablar también sobre los indicadores de rendimiento que se utilizan a la hora de hablar sobre plantas de generación eléctrica. Existen tres indicadores principalmente, que pueden describir el rendimiento de una planta geotérmica:

$$\text{Factor de Capacidad (\%)} = \frac{\text{MW generados en el periodo}}{\text{Capacidad instalada (MWe)} \times \text{Periodo(horas)}} \times 100$$

$$\text{Factor de Carga (\%)} = \frac{\text{MW generados en el periodo}}{\text{Carga máxima (MWe)} \times \text{Periodo(horas)}} \times 100$$

$$\text{Factor de Disponibilidad (\%)} = \frac{\text{Nº horas funcionamiento planta}}{\text{Duración total del Periodo(horas)}} \times 100$$

El factor de disponibilidad (%) se divide en dos categorías:

- **Parada programada:** en la que a la planta se le ha programado un mantenimiento con al menos dos semanas de anticipación.



- Parada forzada: en la que la planta queda fuera de servicio inmediatamente o antes de la siguiente parada programada.

La capacidad y el factor de carga son necesarios para describir el rendimiento global de la planta.

### 3.3.2 Usos directos del calor:

En el anterior apartado se ha visto la utilización de la energía geotérmica como fuente de energía para obtener electricidad, en sustitución a otras convencionales, tales como la nuclear, derivados del petróleo, carbón, etc.

Como se vio en capítulo anterior, a medida que disminuye el nivel térmico del recurso, aumenta el consumo específico de la planta y disminuye su rendimiento. Teniendo en cuenta que los recursos geotérmicos de alta entalpía son escasos, es interesante contemplar otras aplicaciones que se pueda dar a las fuentes geotérmicas de menor temperatura.

En el uso directo del calor geotérmico es una de las formas más antiguas y comunes de la utilización de la energía geotérmica. Las aplicaciones en baños, calefacción ambiental y residencial, en agricultura, acuicultura y otros usos industriales son las formas más utilizadas. Las bombas de calor geotérmico, son las más generalizadas (13% del total de energía geotérmica utilizada en el año 2000).

Se tienen dos ámbitos principales: el sector residencial y servicios y el sector industrial.

En la siguiente gráfica se muestra la distribución proporcional de estos usos:

### Usos directos del calor

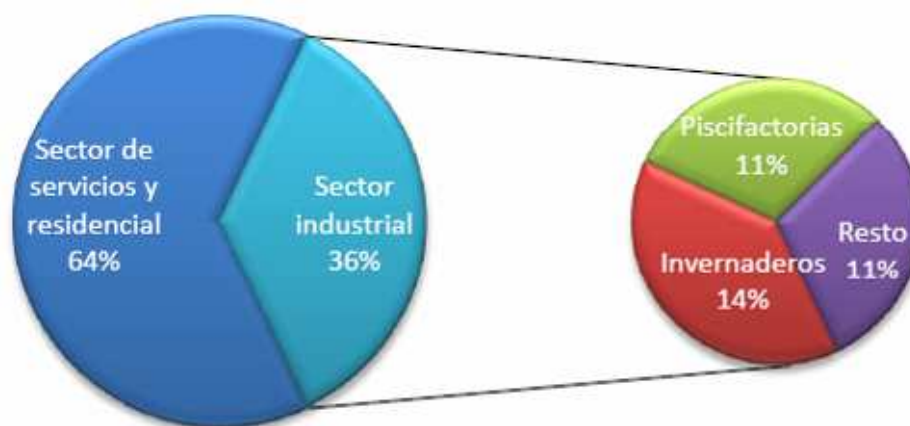


Figura 20. Porcentajes con los usos directos del calor.





Dentro de la gran variedad de posibles aplicaciones del uso directo del calor, las distintas instalaciones de utilización tienen unos rasgos comunes. Los componentes primarios de un sistema genérico de uso directo del calor son:

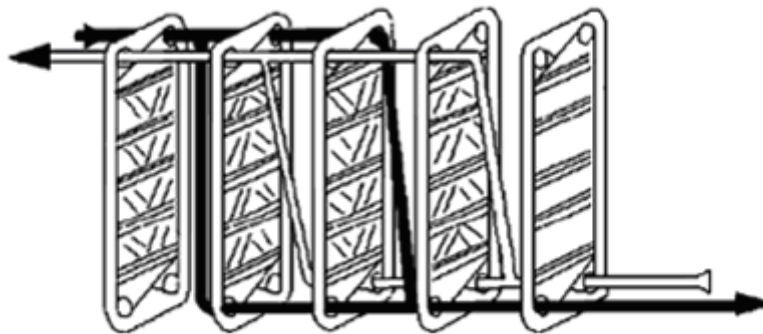
- **Bombas de extracción:** para la extracción del agua del pozo. Si el pozo es artesano, el agua fluye de forma natural y no es necesario instalar bombas de extracción. En caso contrario, se requiere instalar bombas en el fondo del pozo para elevar el fluido a la superficie. Según las características del yacimiento (profundidad, temperatura, etc.) y según el presupuesto, se podrá optar por instalar distintos tipos de bombas.
- **Líneas de transmisión y circulación:** Normalmente, los puntos de demanda del calor están situados a cierta distancia de los pozos de extracción y la energía geotérmica debe transportarse de un punto al otro. El fluido de las líneas de transmisión, puede ser agua líquida, vapor o mezcla. Las distancias soportadas son de varias decenas de kilómetros, aunque depende en gran medida de la pérdida energética producida por su transporte (enfriamiento que adquiere el fluido debido al rozamiento con las tuberías).

Las tuberías utilizadas pueden ser de una gran variedad de materiales, aunque es más común suele ser el acero. La elección del material dependerá en gran medida de la temperatura que tenga que soportar, de su comportamiento ante la corrosión (en caso de que el fluido contenga sales o gases) y de su precio.

- **Intercambiadores de calor:** para trasvasar el calor contenido del agua geotérmica al agua del circuito de distribución.

Hay varios tipos:

- **Intercambiadores de placas:** Suelen estar contruidos de aleaciones de titanio, aunque los materiales son diversos. Está formado por un conjunto de placas metálicas sujetadas a una estructura con varillas. La separación entre las placas es muy pequeña y debido al característico estampado, se consigue una superficie de contacto grande, proporcionando un intercambio térmico eficiente en un volumen pequeño. Son el tipo de intercambiador más utilizado hoy en día, debido a su posibilidad de ampliación de la carga térmica y su coste inferior (un 40% menos).



*Figura 21. Intercambiador con placas tubulares.*



- Intercambiadores de calor de fondo del pozo: Toman el calor del yacimiento y consiste en instalar un tubo en U sumergido en el agua caliente del interior del pozo, a través del cual, circula el agua secundaria por convección natural. Se aplican principalmente a pozos de poca profundidad (200 m como máximo) y para instalaciones de baja potencia (menor de 800 KWt).

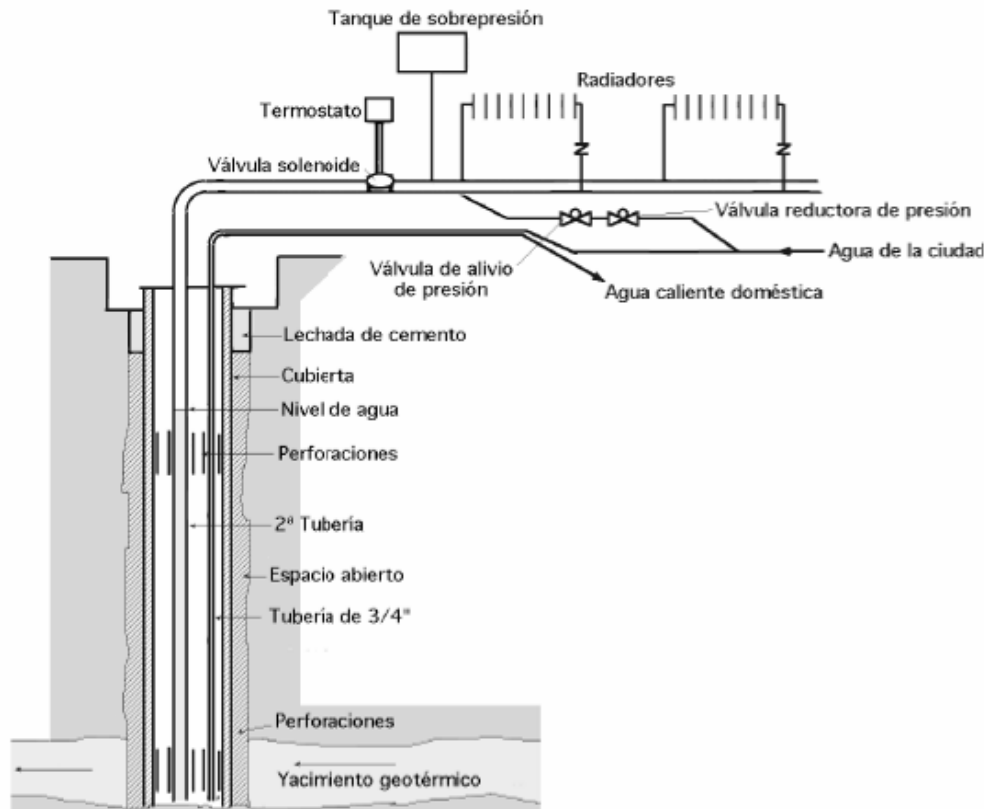


Figura 22. Intercambiador de calor de fondo del pozo.

- **Equipos de medición y control.** Son muy importantes, ya que sirven para garantizar el buen funcionamiento del sistema y para proporcionar información para conocer su estado de funcionamiento. Servirán también pues, para la facturación de la energía.

### Usos del calor geotérmico en el Sector Industrial.

Los usos del calor para aquellas industrias que no exigen temperaturas muy altas son muy habituales. Así, por ejemplo, la geotérmica es usada en el secado de tejidos en industrias textiles japonesas, o en la industria del tintado en China.



En la tabla siguiente, se muestran los usos más habituales según la temperatura del recurso:

Procesado Industrial	Temperatura (°C)
Procesado de alimentos	40-95
Invernaderos	35-90
Secado de frutas y vegetales	70-90
Piscifactorías	35-38
Curtido de Pieles	35-65

*Tabla 1. Procesos industriales típicos con su temperatura de recurso correspondiente.*

Los principales usos en el sector industrial de los recursos geotérmicos de baja entalpía son los invernaderos (el 14%) y las piscifactorías (11%). Por este motivo, se explicarán un poco más en detalle a continuación:

### **Invernaderos**

Son muchos los invernaderos que usan aguas calientes procedentes de acuíferos para calentar el suelo de sus instalaciones y adelantar así las cosechas. Esto permite extender el período productivo de los vegetales a lo largo del año y ampliar su cultivo a zonas que, debido a las condiciones climáticas, serían poco productivas. Una particularidad de los invernaderos en relación a la calefacción convencional, es que la temperatura necesaria para el desarrollo de las plantas no es muy elevada, así que la energía geotérmica de baja entalpía proporciona un uso excelente para esta aplicación. Su aplicación es tanto para cultivo de vegetales y plantas de interior, como para flores.

En general, la calefacción de invernaderos presenta características muy diversas, tanto por la dimensión de sus instalaciones y el tipo de cultivo como por el clima y las características de la fuente de agua geotérmica.

El sistema más común se basa en la utilización en serie del recurso geotérmico aprovechando que no todos los vegetales requieren el mismo aporte de calorías para su desarrollo. Así, en los primeros módulos del invernadero, y en contacto con el agua más caliente, se colocan los vegetales con necesidad térmica más importante, mientras que en los módulos finales se ubican los de menor necesidad, que generalmente son las flores.

La explotación del calor geotérmico en la calefacción de invernaderos puede reducir considerablemente los costes de operación, alcanzándose un ahorro de hasta el 35% del total de costes.

### **Piscifactorías**

Estos sistemas consisten en criar peces, crustáceos o mariscos en varias piscinas controlando la alimentación, temperatura y calidad del agua.

Al igual que sucede con los invernaderos, las piscifactorías, hacen muy buen uso de la energía geotérmica de baja entalpía, por requerir necesidades térmicas bajas. Las



temperaturas requeridas están entre los 20 y 30°C y el tamaño de la instalación dependerá de la temperatura del recurso geotermal, de la temperatura requerida por los peces y de la pérdida de calor de las piscinas.

Actualmente, la acuicultura geotérmica está adquiriendo una gran importancia a nivel mundial, debido al aumento de la demanda. Este uso es sobretodo habitual en países fríos, permitiendo reducir los costes considerablemente.

### **Usos del calor geotérmico para uso residencial y servicios.**

En la actualidad, en este sector se suele consumir electricidad, gas natural o derivados del petróleo como el propano y butano. Todas estas energías son caras a la vez que contaminantes y no renovables. Es por ese motivo que la energía geotérmica se ha alzado en este sector como una energía con gran futuro.

El bajo nivel térmico exigido por la demanda permite utilizar agua geotérmica de baja entalpía y devolverla a baja temperatura, con lo cual se incrementa el potencial térmico del recurso geotérmico e induce al ahorro de energía de alta calidad, que podrá dedicarse para otras aplicaciones más exigentes (térmicamente hablando).

Dentro del rango térmico en que operan estos sistemas, existen en el mercado bombas de calor que permiten incrementar el potencial energético de los pozos e incluso extraer calor de yacimientos de muy baja entalpía, que no serían explotables de forma convencional.

El esquema general de utilización de energía geotérmica en este sector, consta de tres circuitos:

- Circuito primario: Formado por el equipo de bombeo y acondicionamiento del agua geotérmica (situado en la boca del pozo), un intercambiador de calor de placas (transfiere calor al circuito de distribución) y el sistema de reinyección de agua fría al yacimiento.
- Red de distribución: Formado por el sistema cerrado de tuberías para la distribución de agua caliente.
- Circuito de distribución privado: Se desglosa en otros dos circuitos, debido a su distinto nivel térmico:
  - a) Un circuito abierto de agua caliente sanitaria (ACS): Éste está formado por un intercambiador de calor, un depósito acumulador (sirve para preparar el agua de la red pública hasta la temperatura deseada) y un sistema de apoyo, para suplir en caso necesario de déficit de calor geotérmico.
  - b) Un circuito cerrado de calefacción: Éste está formado por un intercambiador, las tuberías de distribución, emisores de calor y un sistema de regulación y control.



A continuación pasaremos a explicar las principales aplicaciones de la energía geotérmica y el método en el sector servicios y residencial:

### **Bombas de calor geotérmicas.**

La primera aplicación que vamos a explicar es la bomba de calor geotérmica (GHP, “Geothermal Heat Pump”). Con el uso de una de estas bombas podemos climatizar un edificio con una mayor eficiencia a la que tenemos con los sistemas actuales.

Normalmente el resto de sistemas entre el circuito primario de agua geotérmica y el circuito secundario de distribución de calor disponen de un intercambiador de calor que limitará la potencia extraída de calor (según su eficiencia). Sólo es posible extraer calor si la temperatura de entrada de agua geotérmica es superior a la de retorno del circuito secundario, temperatura que viene fijada por el tipo de instalación de calefacción y la temperatura exterior.

Estas limitaciones condicionan el aprovechamiento de los recursos de baja y media entalpía. La bomba de calor permite evitar estas limitaciones y explotar yacimientos de muy baja temperatura (incluso menor que la demandada).

Las bombas de calor utilizadas son máquinas frigoríficas de compresión expansión, que están formadas por:

- Un compresor, que aspira un gas a baja presión y lo comprime hasta una presión elevada.
- Un condensador, donde se enfría y sale en forma de líquido saturado.
- Una válvula de expansión, de donde sale en forma de mezcla líquido-vapor a baja presión y temperatura.
- Un evaporador, donde la fase líquida pasa a vapor. El vapor saturado retorna al compresor y se cierra el ciclo.

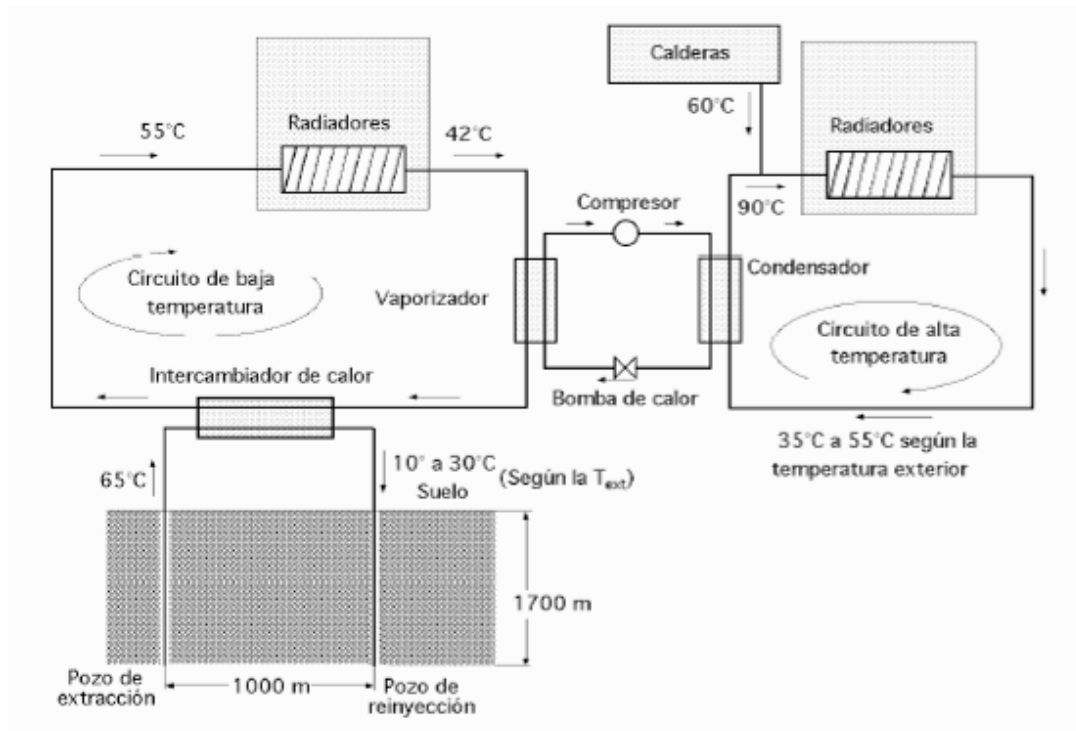


Figura 23. Instalación de calefacción con bomba de calor.

La bomba de calor geotérmica suele aplicarse a instalaciones domésticas y comerciales de pequeña y mediana potencia. Este sistema ha tenido una gran aceptación y está experimentando un gran auge, debido a la gran oferta actual de bombas de calor. El número de máquinas instaladas es, aproximadamente, de 700.000 unidades y con una potencia media típica de 12 KWt (corresponde a una instalación doméstica unifamiliar).

Los intercambiadores de calor enterrados, elemento fundamental de las GHP, están constituidos por una tubería plástica (generalmente polietileno) de alta resistencia y gran duración que se entierra debajo de la superficie del suelo a una cierta profundidad. El líquido (preferente agua o una solución con anticongelante) circula a través de la tubería, normalmente en circuito cerrado, transportando el calor a la bomba de calor en invierno y al suelo en verano. Se produce un intercambio de energía térmica entre el líquido que circula por las tuberías enterradas y el suelo de forma que pueden acondicionarse recintos con una enorme eficiencia y ahorro energético.

Existen diferentes configuraciones de intercambiadores enterrados acoplados a bombas de calor geotérmicas que se aplican dependiendo de las características concretas de cada proyecto:

- En primer lugar explicamos la configuración de intercambiador horizontal, esta configuración permite una buena relación coste-prestaciones, su instalación es sencilla (1-5m de profundidad), y se utiliza en edificios con disponibilidad de una superficie terreno suficiente. Otra configuración horizontal es la denominada Slinky (Tubería enrollada en forma de espiral) la cual permite intercambiar más energía en menos espacio.
- Por otro lado tenemos la configuración vertical. Esta configuración es recomendable cuando se tiene poca disponibilidad de espacio, pues minimiza el



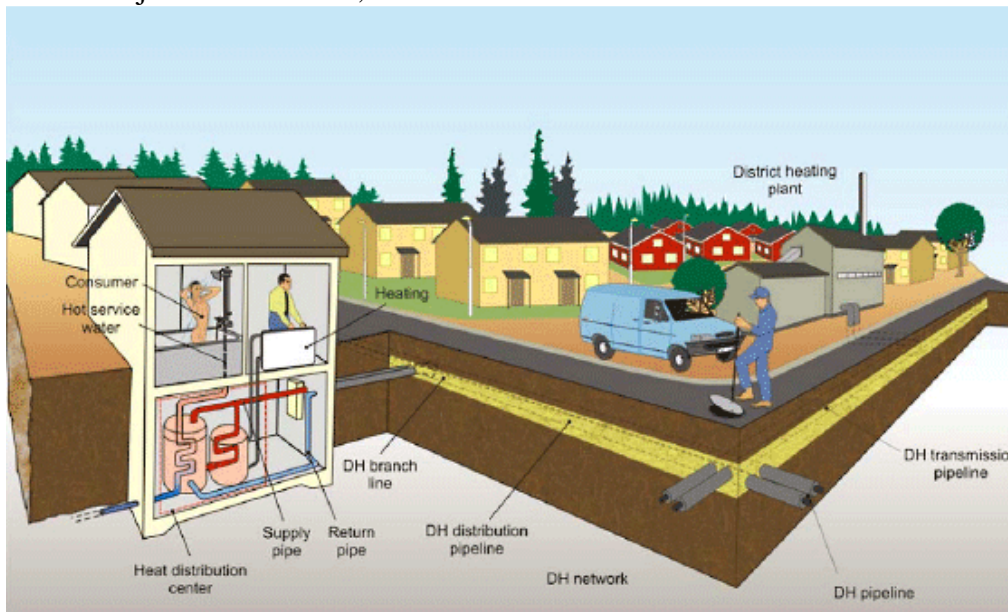


área afectada. Los pozos se suelen hacer típicamente de entre 50 y 150 m de profundidad, con material de relleno, y tienen una menor longitud de tubería.

- La configuración que tiene la una relación coste eficiencia más alta es la configuración en bucle abierto, se utiliza en aquellas zonas donde existe agua subterránea y es la instalación más sencilla existente. Con estos sistemas puede explotarse una gran fuente de calor con un coste muy bajo.
- Por último cabe destacar la configuración de intercambiadores sumergidos. Esta opción es aplicable en aquellos casos donde exista una masa de agua, ya sean pozos abiertos, lagos, etc. Es una de las opciones más eficientes.

### District Heating.

Otro método para aplicación de la energía geotérmica en el sector residencial es el “District Heating” (DH), también se le denomina calefacción urbana. Se entiende por “District Heating” al sistema de calefacción centralizado que satisface la demanda de calor de un conjunto de usuarios, distribuidos dentro de una zona extensa.



*Figura 24. Ejemplo de district heating.*

La calefacción urbana funciona de la siguiente manera: desde una central de producción de calor, se distribuye agua caliente, por medio de conducciones aisladas térmicamente, hacia las subcentrales de edificio donde, con un intercambiador, se prepara el agua con las características (presión y temperatura) propias de la instalación del edificio. Ésta subcentral es como cualquier central térmica de edificio, pero con el intercambiador en lugar de calderas.

El agua que ha perdido una parte del calor que transportaba, vuelve a la central de producción para ser recalentada y reenviada a la red.

Los sistemas geotermiales de calefacción residencial requieren grandes inversiones de capital. Los mayores costos corresponden a la inversión inicial, en pozos de producción y de reinyección, en bombas, tuberías, redes de distribución, equipos de monitoreo y



control, etc. Sin embargo, los costos de operación son comparativamente más bajos que en los sistemas convencionales. Un factor muy importante a la hora de estimar el coste inicial de un sistema, es la demanda de calor dividida por el área de terreno del distrito. Una alta densidad de calor determina la factibilidad económica de un proyecto de calefacción residencial ya que la red de distribución es costosa.

Algunos beneficios económicos se pueden conseguir combinando calefacción y enfriamiento en aquellas áreas donde el clima lo permita.

En Estados Unidos se hace un uso muy frecuente de la calefacción urbana, esta calefacción distribuye el calor por una red urbana del mismo modo en que se hace con el gas o el agua. Tenemos que destacar el sistema de vapor de la Ciudad de Nueva York, que en la actualidad es operado por “Consolidated Edison” y que lleva vapor para calentar o enfriar ambientes a más de 1 millón de clientes.

En España hay varios ejemplos de calefacciones de barriada; concretamente en Madrid, Colonia de la Esperanza (aprox. 3200 pisos de unos 110 m<sup>2</sup> de media), Barrio Altamira o Meseta de Orcasitas. Y podemos destacar la central térmica de la ciudad universitaria, obra del arquitecto Manuel Sánchez Arcas y del ingeniero Eduardo Torroja, que fue Premio Nacional de Arquitectura en 1932. Esta central da servicio a muchas facultades de la Universidad Complutense de Madrid.

### **Balnearios y piscinas climatizadas.**

Es la forma más antigua de aprovechamiento de la energía geotérmica.

Nació en la antigua Roma cerca de manantiales termales, denominándose termas.

### **Calefacción y agua caliente sanitaria en recintos.**

Los acuíferos para estos usos van de los 30 °C a los 150 °C. En Islandia, el país con mayor actividad geotérmica del mundo, el 99% de las viviendas utilizan la energía geotérmica con esta finalidad.

### **Secado de pavimentos.**

En muchas ciudades de climas fríos, la energía geotérmica es empleada para evitar la formación de placas de hielo en los pavimentos. Para ellos se instalan tuberías enterradas a ras del suelo por las que circula agua caliente o vapor. Ejemplos de este uso se encuentran en Reykiavik (Islandia) o Fukui (Japón).

### **Refrigeración.**

También puede aplicarse la energía geotérmica para la producción de frío. Esto se consigue mediante la adaptación de equipos de absorción. El ciclo de absorción es un proceso que utiliza calor como fuente de energía, en vez de electricidad. Este calor debe ser superior a los 110°C para poder tener una eficiencia aceptable y así poder alimentar al generador.



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

El efecto de refrigeración se logra mediante dos fluidos: un refrigerante, que circula, se evapora y se condensa, y un segundo fluido, denominado absorbente.

Para aplicaciones sobre 0 °C (refrigeración y aire acondicionado), el ciclo utiliza bromuro de litio como absorbente y agua como refrigerante. Para aplicaciones inferiores a los 0 °C se emplea un ciclo de amoníaco, con amoníaco como refrigerante y agua como absorbente.



### 3.4 Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.

La geotermia como todas las energías tiene sus ventajas y sus inconvenientes. A continuación veremos las más significativas:

#### Ventajas

Las principales ventajas son las siguientes:

- Es una fuente que evitaría a muchos países la dependencia energética del exterior.
- Los residuos que produce son mínimos debido a que no produce emisiones de CO<sup>2</sup> y además ocasionan un menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón...

En la siguiente tabla podemos ver las diferencias de emisiones de CO<sup>2</sup> de las diferentes fuentes de energía:

Porcentaje de ahorro	Gasoil	Gas	Biomasa	Acumulador eléctrico tarifa nocturna	Bomba de calor	Solar/ electricidad/ gasoil	Solar/ gas
Agua caliente (ACS)	92%	90%	83%	83%	83%	69%	72%
Calefacción	89%	87%		78%	56%	84%	81%
Aire acondicionado	47%	47%	47%	47%	47%	47%	47%
Climatización más ACS	88%	85%	-57%	76%	58%	82%	79%

Tabla 2. Emisiones de CO<sup>2</sup> según la fuente de energía.

- La geotermia reduce el coste que supone climatizar una vivienda, tanto para calor como para frío. Su rendimiento puede ser hasta 4 veces superior al de una caldera convencional y el gasto hasta un 75% inferior.
- La geotermia puede proporcionar calor, frío y agua caliente sanitaria sin importar la temperatura exterior, las 24 horas del día y los 365 días del año. La bomba geotérmica se puede instalar dentro de la casa sin que sea necesario ningún tipo de ventilación o chimenea. No sufre el desgaste de las máquinas que están a la intemperie, por lo que su vida útil es muy prolongada. El calor que proporciona es agradable, no es un calor seco, y no existen altas y bajas de temperatura siendo ésta siempre constante.
- Como aspectos sanitarios, debemos destacar la no existencia de las torres de refrigeración, evitando de esta forma cualquiera contaminación por legionelosis.
- Desde una vertiente estética, la no existencia de torres de refrigeración ni condensadores de aire hace que el edificio quede exento de cualquier perturbación visual.
- Como la instalación sólo necesita una ligera aportación de energía, la vivienda tiene la consideración de unidad de contaminación “cero”.
- La bomba de calor geotérmica al intercambiar con la corteza de la tierra, tiene un rendimiento muy alto no dependiendo de la temperatura exterior, lo cual hace que el sistema sea muy eficiente técnicamente.



- Arquitectónicamente la bomba de calor no necesita chimeneas de evacuación de humos.
- Dado que la temperatura de trabajo de la instalación no supera los 50° C, el grado de confort de la vivienda se puede considerar muy alto.
- Representa un ahorro energético y económico de entre un 60 y un 80% respecto a los sistemas de climatización tradicionales como el gas o el gas-oíl.

En la siguiente tabla podemos ver el ahorro económico comparado con otras energías:

Porcentaje de ahorro	Gasoil	Gas	Biomasa	Acumulador eléctrico tarifa nocturna	Bomba de calor	Solar/ electricidad/ gasoil	Solar/ gas
Agua caliente (ACS)	78%	72%	83%	80%	83%	45%	19%
Calefacción	70%	62%	46%	53%	56%	57%	46%
Aire acondicionado	47%	47%	47%	47%	47%	47%	47%
Climatización más ACS	69%	61%	52%	56%	58%	56%	45%

*Tabla 3. Porcentaje de ahorro económico según la fuente de energía.*

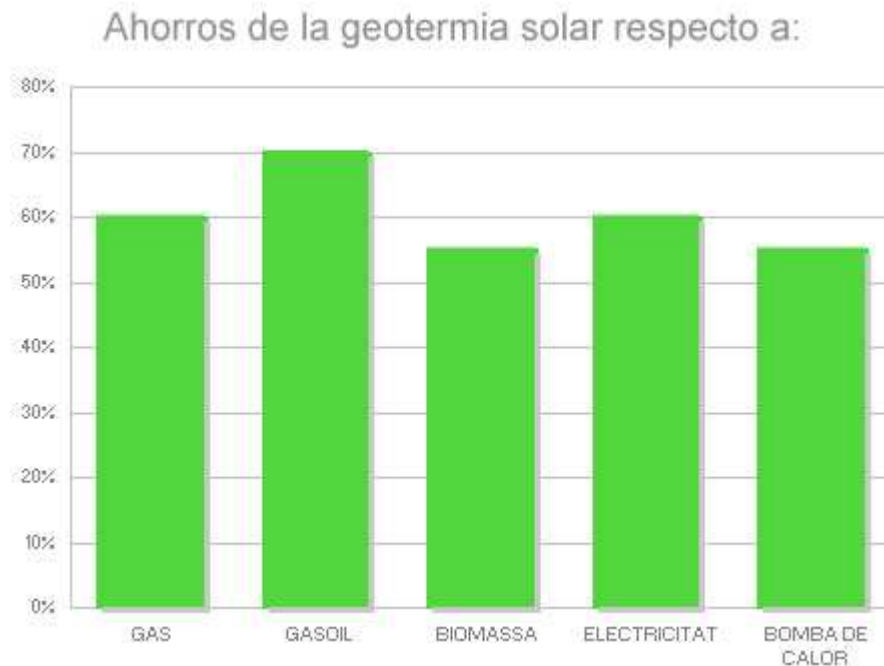
- El gasto más importante en materia energética de las viviendas actuales, es el gasto en climatización (calor y refrigeración) y en agua caliente sanitaria. En este concepto, una construcción nueva puede gastar más del 70% del gasto energético. Es por esto, que la geotermia solar soluciona una parte muy importante del consumo energético de las viviendas. Los ahorros que se pueden conseguir comparando con otros sistemas son:

Porcentaje de ahorro	Gasoil	Gas	Biomasa	Acumulador eléctrico tarifa nocturna	Bomba de calor	Solar/ electricidad/ gasoil	Solar/ gas
Agua caliente (ACS)	85%	87%	83%	83%	83%	45%	62%
Calefacción	80%	82%	80%	78%	56%	71%	75%
Aire acondicionado	47%	47%	47%	47%	47%	47%	47%
Climatización más ACS	78%	81%	78%	76%	58%	68%	72%

*Tabla 4. Porcentaje de ahorro energético.*



En la siguiente imagen lo podremos ver de manera más gráfica:



*Figura 25. Ahorro de la geotermia respecto al resto de energías.*

- También un punto a destacar es la durabilidad de sus elementos: La bomba de calor ya no está en contacto con el exterior, por lo que se alarga su vida útil. Se anuncian duraciones de entre 25 y 50 años.
- Otra ventaja es la acústica: Ya no hay necesidad de colocar un compresor y ventiladores en el exterior, por lo que el sistema es mucho más silencioso.

### Inconvenientes

Los principales inconvenientes son los siguientes:

- El principal inconveniente de este sistema es su todavía elevado coste de instalación. Los fabricantes anuncian amortizaciones de entre 4 y 8 años, pero si se contrastan los datos disponibles, la inversión en una instalación geotérmica frente a una típica de gasóleo parece tardar en amortizarse en torno a los 15 años. No obstante, hay que tener en cuenta que la geotérmica elimina la necesidad de una segunda instalación de aire acondicionado, así como las ayudas y subvenciones a las que puede acogerse.

En general, se puede decir que este tipo de calefacción será tanto más idónea cuanto más grande sea el edificio y mayor su tiempo de uso estimado. Factores ambos que limitarán la repercusión económica de la instalación.





PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

- Posible contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, mercurio, etc...
- Contaminación térmica.
- Se produce un deterioro del paisaje al realizar las perforaciones para la extracción del calor. Es un gran impacto visual.
- No se puede transportar como energía primaria, por ello las centrales geotérmicas se deben situar cerca de las fuentes geotérmicas.
- En ciertos casos emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- No está disponible más que en determinados lugares, por lo que muchos países no pueden explotarla actualmente.
- También tenemos que tener en cuenta que estas instalaciones necesitan unas necesidades de espacio especiales. Las instalaciones más económicas son las horizontales, pero exigen un espacio del que no siempre se dispone. Las instalaciones verticales, que soslayan el problema, tienen precios más elevados, y su justificación económica disminuye.
- En algunos casos se produce una ligera emisión de  $\text{CO}_2$ .
- Si los yacimientos no son bien administrados pueden ser agotados en pocas décadas.



### 3.5 Geotermia en el mundo

La climatización geotérmica no es habitual en España, pero está muy desarrollado en otros países, por poner un ejemplo los del edificio que utiliza el parlamento alemán, se climatizan por este sistema, así como algunas escuelas estadounidenses y suizas. En Francia, casi el 50 % de las bombas de calor instaladas son geotérmicas, rondando las más de 15.000. Uds. instaladas sólo por una marca o fabricante de estos equipos.

Aunque en España la geotermia no está muy implementada, en Pamplona, en agosto de 2009, el Servicio Navarro de Salud, hizo una concesión de obra pública para la obtención de energía de origen geotérmico con destino a la clínica Barman.

En Estados Unidos se hace un uso muy frecuente de la geotermia, principalmente mediante la calefacción urbana ("district heating"), esta calefacción consiste en distribuir el calor (la energía térmica) por una red urbana del mismo modo en que se hace con el gas o el agua.

La calefacción urbana funciona de la siguiente manera: desde una central de producción de calor, se distribuye agua caliente, por medio de conducciones aisladas térmicamente, hacia las subcentrales de edificio donde, con un intercambiador, se prepara el agua con las características (presión y temperatura) propias de la instalación del edificio. Ésta subcentral es como cualquier central térmica de edificio, pero con el intercambiador en lugar de calderas.

El agua que ha perdido una parte del calor que transportaba, vuelve a la central de producción para ser recalentada y reenviada a la red.

En España hay varios ejemplos de calefacciones de barriada; concretamente en Madrid, Colonia de la Esperanza (aprox. 3200 pisos de unos 110 m<sup>2</sup> de media), Barrio Altamira o Meseta de Orcasitas. También destaca la central térmica de la ciudad universitaria, obra del arquitecto Manuel Sánchez Arcas y del ingeniero Eduardo Torroja. Esta central da servicio a muchas facultades de la Universidad Complutense de Madrid.

Si nos centramos en el uso de la geotermia para la producción de electricidad, nos encontramos con diferentes centrales a lo largo del mundo:

En nueva Zelanda se encuentran nueve centrales situadas en:

- En Tapou se encuentra la central de Centennial Drive, es una central de ciclo binario con una capacidad de 23 MW de potencia. Esta central abrió en Mayo de 2010 y es operada por la empresa Contact Energy.



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

- En Kawerau hay una central de 100 MW de potencia que lleva operando desde el año 2008, recibe la energía procedente de vapor de los campos de kawerau pertenecientes a la zona volcánica de Taupo.

Esta central es la más grande de Nueva Zelanda.

La empresa que se encarga de su explotación es Mighty River Power.

La central usa una Turbina Fuji y el fluido es separado dos veces para producir vapor de alta y baja presión para alimentar la turbina. En la región de Waikato está la central de Mokai con una capacidad de 112MW, lleva funcionando desde el año 2000 y desde el año 2007 es operada por la empresa Mighty River Power.

- En Tapou también se encuentra la central de Nga Awa Purua, es la segunda central más grande de Nueva Zelanda y tiene la turbina geotérmica más grande del mundo.

La capacidad máxima de la central es de 140MW y fue abierta el 15 de Mayo del año 2010.

Es explotada por la compañía Mighty River Power.

- En el año 1998 se abrió la central de Ngawha con una capacidad inicial de 8MW, pero en el año 2008 se realizó una ampliación aumentando la capacidad a los 25 MW.

Esta central es operada por la empresa Top Energy y utiliza un ciclo binario fabricado por la Industrias Ormat.

- En Waikato también está situada la central de Poihipi, abierta en el año 1997, tiene una capacidad de 55MW y es operada por la compañía Contact Energy.
- La central de Rotokawa también se encuentra en Waikato se abrió en el año 1997 y tiene una capacidad de 34 MW.

Esta central funciona mediante un ciclo binario fabricado por Industrias Ormat y es gestionada por la empresa Mighty River Power.

- Por último la central de Wairakei es la más antigua de todas, se abrió en el año 1958 y tiene planeado su cese de actividad para el año 2011. Será reemplazada por la central de Te Mihi.

Esta central es gestionada por la empresa Contact Energy.

Actualmente tiene una capacidad de 181 MW gracias a un ciclo binario que se instaló en el año 2005 para lograr conseguir utilizar el vapor de baja temperatura



Además existen tres proyectos:

- **Paralana:** El proyecto de Paralana está situado junto a la mina de uranio de Beverly. Se trata de un sistema de ingeniería geotérmica (EGS), basadas en el intercambiador de calor de Petrathern.
- **Cooper Basin:** El proyecto de 25 MW de Cooper demostrara el potencial de la roca caliente de la energía geotérmica con cero emisiones. El proyecto pertenece a Geodynamics.
- **Jurien-Woodada:** El proyecto de Jurien-Woodada es el más avanzado de los tres y se encuentra situado en el oeste de Australia.

En México existe la central de Cerro Prieto, es la mayor central del mundo con una capacidad instalada de 720 MW con planes de ampliación hasta los 820 MW en el año 2012.

Esta central fue puesta en marcha en el año 1973 y está constituida por cinco unidades individuales:

- La primera unidad tiene una capacidad total instalada de 180 MW.
- La segunda unidad tiene una capacidad total instalada de 220 MW.
- La tercera unidad tiene una capacidad total instalada de 220 MW.
- La cuarta unidad está compuesta por cuatro turbinas, con una capacidad de 25 MW cada una. Con un total de 100 MW de total. Esta unidad fue puesta en marcha en julio del año 2000.
- La quinta unidad es la más moderna de las cinco, se empezó a construir en Septiembre del 2009 y está formada por dos turbinas de 50 MW cada una.

En Chile desde el año 2007 la empresa Geotermia del Pacifico está intentado que se le concedan derechos sobre los terrenos de Curacautín para construir una central geotérmica con el apoyo de CORFO (Corporación de Fomento de la producción de Chile).

China tiene una capacidad térmica instalada de 3,687MW.

Dinamarca tiene dos distritos centrales de calefacción geotérmica, uno en Thisted que comenzó a funcionar en el año 1988, y otra en Copenhague, que comenzó en el año 2005. Ninguna de las dos produce electricidad.

El Salvador es uno de los 10 países más importantes en el tema de la geotermia. La geotermia representa el 14% de la energía que se produce en el país. Desde el año 1975 el campo de Ahuachapán esta en continua explotación y desde el año 1992 el campo de Berlín esta en explotación con dos centrales, ambas de 5 MW.

Alemania espera aumentar su producción de energía eléctrica mediante la geotermia gracias a una ley que proporciona subvenciones a quienes hagan uso de ella. Desde el año 2003 funciona una central en Neustadt-Glewe, situada al norte de Alemania.



Indonesia es el tercer país que produce más electricidad mediante la geotermia por detrás de Estados Unidos y de Filipinas, se produce un 40% de energía geotérmica del mundo.

Se producen en torno a los 1,200 MW desde seis campos en Java, del norte de Sumatra y del norte de Sulawesi.

En el congreso del 2010 en Bali, el presidente de Indonesia anunció un plan para construir 44 nuevas plantas geotérmicas para conseguir producir 4,000 MW en el año 2014 y en el año 2025 ser el líder mundial produciendo 9,000 MW, esto supondría un 5% de la energía total consumida en el país.

Las centrales más importantes de Indonesia son las siguientes:

- La central de Darajat tiene una capacidad de 55 MW y se encuentra en la localidad de Samarang.
- La central de Kamojang está situada en Kawah Kamojang al oeste de Java. Esta central tiene una capacidad de 140 MW gracias a tres turbinas, dos de ellas de 55 MW y la otra de 30 MW.
- La central de Salak está en el monte Salak que se encuentra al oeste de Java. Esta central tiene una capacidad de 180 MW.
- La central de Wayang Windu es la más grande de Indonesia, esta central hace uso de dos turbinas, una de 110 MW y la otra de 117 MW sumando un total de 227 MW de capacidad total. La instalación de una tercera turbina está en planificación y se espera que esté operativa a mediados del año 2013 aumentando la capacidad total a 344 MW. Está situada en Pangalengan al sur de Bandung.

Japón es un país favorable al aprovechamiento de la geotermia gracias a su proximidad al sistema tectónico de Izu-Boni-Mariana. En estos momentos tiene instalada una capacidad de 535.2 MW, lo que sería un 5% de la geotermia del mundo.

En Japón hay centrales instaladas en los siguientes lugares: Mori, Ohnuma, Matsukawa, Kakkonda, Uenotai, Onikoube, Yanaizu-Nishiyama, Hachijo-Jima, Suginoi, Ohtake, Hacchobaru, Oguni, Kirishima Kokusai Hotel, Ohgiri, Yamagawa

En Islandia existen 5 centrales geotérmicas:

- La central de Hellisheiði es la segunda más grande del mundo y la mayor de Islandia, está situada en Hengill al sudoeste de Islandia a unos once kilómetros de la central Nesjavellir.

Esta central tiene una capacidad máxima de 400 MW y en el año 2009 produjo 213 MW de electricidad.

La central de Hellisheiði comenzó a operar en el año 2006 con dos turbinas de 40 MW y 45 MW. A estas dos turbinas se le sumó otra de 30 MW en el año 2008 y otras dos más de 40 MW y 45 MW en la última renovación del año 2008.



- La central de Krafla se encuentra cerca del volcán de Krafla y desde el año 1999 produce 60 MW de energía.
- La central de Nesjavellir es la segunda más grande de Islandia, está situada a unos 177 metros sobre la superficie del mar, cerca del volcán de Hengill y de Thingvellir.  
En mayo del año 1990 se comenzó a construir la central y actualmente produce unos 130 MW de energía eléctrica gracias al suministro de agua caliente del área de Reykjavík.
- La central de Reykjanes está situada en la localidad del mismo nombre al sudoeste de Islandia, esta central produce 100 MW que próximamente al concluir el año 2010 sean 125 MW tras ampliación que se está realizando.
- La central de Svartsengi se encuentra situada en la población de Keflavík, muy cerca del aeropuerto internacional.  
Produce 76,5 MW gracias al agua que extrae del Lago Blue.



*Figura 26. Central de Svartsengi.*

En Italia está la central de Serrazzano con una capacidad instalada de 60 MW.

En Kenia se encuentra la central de Olkaria II que cuenta con una capacidad instalada de 70 MW.

En Rusia está la central de Mutnovskaya que dispone de una capacidad de 50 MW.

Estados Unidos es la nación líder en la producción de energía gracias a la geotermia y dispone de tres centrales:

- La central de Calistoga que produce 176 MW.
- La central de Inyo que produce 272 MW.
- La central de Salton Sea que produce 185 MW.





### **3.6 Geotermia en España.**

La energía geotérmica es un sector con poco potencial en España. Según el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), las fuentes geotérmicas españolas produjeron calor por valor de 8000 toneladas equivalentes de petróleo en 2005. Los destinos de ese calor fueron balnearios, un pabellón deportivo (Os Remedios, Orense) y varias instalaciones cuasi artesanales que están funcionando en algunos invernaderos de la zona del acuífero de Mula-Archena en la región de Murcia. Además, el Equipo Nacional Español de Bomba de Calor está experimentando con un prototipo de bomba geotérmica en la Universidad Politécnica de Valencia.

En cuanto a centrales geotérmicas, aunque en Almería existen bastantes lugares idóneos para construir plantas geotérmicas, no se ha construido ninguna todavía. En la isla canaria de La Palma se estudia la construcción de una planta geotérmica que cubra parte de sus necesidades de electricidad, ya que en la actualidad la dependencia de la isla de los combustibles fósiles es de un 95%.



### 3.7 Ecología

Antiguamente, se consideraba a la energía geotérmica como una “energía limpia”. Actualmente, debido a la creciente preocupación de la sociedad por el medio ambiente, se han estudiado minuciosamente las posibles consecuencias del uso de la energía geotérmica. Aunque la contaminación es muy inferior a la ocasionada por los combustibles fósiles, no hay forma de producir o de transformar la energía sin ocasionar algún impacto directo o indirecto sobre el medio ambiente.

En la mayoría de los casos el grado con que la explotación geotérmica afecta el ambiente es proporcional a la magnitud de su explotación.

Este tipo de energía presenta un cierto impacto medioambiental en el entorno, causado por las emisiones gaseosas y líquidas y por el impacto visual.

Durante la fase de exploración, perforación y construcción se pueden producir impactos.

La construcción de caminos de acceso pueden ocasionar la destrucción de bosques o áreas naturales, mientras que la perforación de pozos y la construcción de la planta pueden producir perturbaciones en el ecosistema: ruidos, polvos, humos y posible erosión del suelo.

El ruido puede ser ocasionado durante la fase de exploración, construcción y producción.

Muchas veces los niveles sonoros pueden traspasar el umbral del dolor (120 dB). En el mismo emplazamiento, los trabajadores deben estar protegidos con elementos personales de protección auditiva. También se pueden instalar silenciadores adecuados en las maquinarias.

Los ruidos en los alrededores del emplazamiento pueden ser reducidos restringiendo las operaciones ruidosas a las horas diurnas, también se pueden construir barreras absorbentes de sonido, como son las barreras de árboles.

Por lo general, las áreas geotérmicas se encuentran alejadas de los centros urbanos, pero se puede contemplar esta medida si los sonidos perjudican a la fauna local.

Durante la fase de operación se suelen generar vertidos gaseosos a la atmósfera. Estos suelen tener baja incidencia en el entorno y están formados por gases no condensables que son arrastrados por el vapor. Están compuestos, principalmente, por dióxido de carbono y sulfuros de hidrógeno, con trazas de amoníaco, hidrógeno, nitrógeno, metano, radón y algunas especies volátiles como boro, arsénico y mercurio, las cuales deberán ser tratadas antes de su vertido.

La contaminación de las aguas superficiales puede producirse por el vertido o acumulación de fluidos geotérmicos, que contienen elementos como sodio, potasio, calcio, flúor, magnesio, silicatos, antimonio, estroncio, bicarbonato, boro, litio, arsénico, sulfuro de hidrógeno, mercurio, rubidio, amoníaco, etc., contaminantes que aparecen en



distinto grado en los ecosistemas acuáticos. En algunos casos, se aplican tratamientos físico-químicos de depuración, aunque lo habitual es la reinyección en el subsuelo.

Asimismo, existe el riesgo de contaminar las aguas subterráneas debido a diversas causas: utilización de determinados líquidos en la etapa de perforación; infiltraciones a través de orificios de las paredes del pozo en la etapa de reinyección, que hacen que el líquido contaminado escurra hacia las primeras capas de agua subterránea; fallos en la impermeabilidad de las piletas de evaporación, y sus consecuentes infiltraciones.

Para mitigar estos daños, es posible el tratamiento de los fluidos antes de su descarga, evitando la introducción de metales nocivos en el medio natural. Todas estas situaciones problemáticas pueden ser evitadas con diseños de planta apropiados y con monitorizaciones periódicas de las aguas subterráneas. Es importante trabajar con controles de calidad, principalmente en la etapa de perforación y construcción.

Para minimizar el impacto ambiental producido por el traslado del fluido a través de los conductos, éstos deben utilizarse dentro del campo geotérmico.



*Figura 27. Central de Reykjanes.*

Por último, hay que señalar que las plantas de aprovechamiento de la energía geotérmica pueden estar sometidas a potenciales sucesos catastróficos.

En zonas con alta actividad tectónica, la reinyección de fluidos en el terreno, durante la explotación de las reservas, puede aumentar la frecuencia de pequeños terremotos en la zona.

Estos efectos pueden ser minimizados reduciendo las presiones de reinyección al mínimo y asegurando que los posibles edificios afectados por los movimientos sísmicos estén preparados para soportar la intensidad de estos terremotos. La actividad sísmica de mayor intensidad podría causar filtraciones de fluidos a algunas partes indeseadas del sistema.

Las erupciones hidrotermales suelen ser atípicas y ocurren cuando la presión de vapor en los acuíferos se intensifica y eyecta hacia arriba la tierra que lo cubre, creando un cráter.



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

Mantener la presión en las reservas puede ayudar a reducir la frecuencia de la ocurrencia de erupciones, también se deben evitar las excavaciones en terrenos con actividad termal.

Muchos de los proyectos de aprovechamiento de la energía geotérmica se encuentran en terrenos accidentados y, es por eso, que son más susceptibles que un terreno llano a deslizamientos del suelo. Esto puede ocasionar graves accidentes si las rocas que caen dañan los pozos o las tuberías, lo que podría resultar en el escape de vapores y líquidos a alta temperatura.

La probabilidad de que esto ocurra puede ser minimizada conteniendo todas las pendientes susceptibles de sufrir deslizamientos de tierra, aunque esto podría aumentar el impacto visual del proyecto.



## 4. Aplicación de la geotermia en una Vivienda

### 4.1 Descripción de la vivienda objeto de estudio.

La vivienda que vamos a calefactar se encuentra en San Sebastián de los Reyes (Madrid). La vivienda consta de tres plantas en la que dos plantas principales se climatizarán y el sótano será un local no climatizado, donde se ubicará la bomba de calor geotérmica. Como situaremos los equipamientos en el interior de la vivienda, su vida útil será más prolongada.

La planta baja de la vivienda cuenta una cocina, una despensa que no climatizaremos, un aseo, un despacho, un vestíbulo y un salón-comedor. El acceso principal a la vivienda se encuentra en esta planta, además accesible desde el salón hay un porche que no se climatizara.

La primera planta la componen cuatro dormitorios y dos aseos además hay dos terrazas que no se climatizaran al ser exteriores. Las plantas se encuentran comunicadas por una escalera, que en este proyecto no se climatizará. La altura de ambas plantas es de 3 m.

En el último capítulo se adjuntan los planos de la vivienda y a continuación en la siguiente tabla se resume la superficie de cada sala:

	Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Planta Baja	Cocina	11,90
	Despensa	2,80
	Vestíbulo	16,85
	Salón-Comedor	37,10
	Aseo	3,75
	Despacho	9,80
	Porche	21.9
	<b>Total Planta Baja Climatizados</b>	<b>79,4</b>
	<b>Total Planta Baja</b>	<b>104.1</b>
Planta superior	Dormitorio Principal	18.75
	Dormitorio 2	13.00
	Dormitorio 3	13.35
	Dormitorio 4	12.40
	Baño 1	5.20
	Baño 2	5.20
	Pasillo	7.90
	Terraza 1	13.05
	Terraza 2	13.05
	<b>Total Planta Superior Climatizados</b>	<b>75.80</b>
	<b>Total Planta Superior</b>	<b>101.9</b>

Tabla 5. Superficie de cada habitación de la vivienda.



## 4.2 Cálculo de las cargas térmicas.

Para poder comenzar con el diseño de una instalación de calefacción es necesario tener en cuenta las características de las zonas a climatizar. Habrá que tener en cuenta el calor generado por las personas que se encuentren en el local, las fuentes de calor presentes, los equipos eléctricos, la radiación solar que entra por las ventanas; así como las fugas de calor debidas a la transmisión de calor a través de los cerramientos (paredes, techos, suelos, etc.) y también habrá que tener en cuenta los efectos del aire exterior de renovación, las pérdidas producidas por ventilación y fugas de aire caliente del interior.

Para realizar este cálculo de las cargas térmicas se ha usado el programa Dmelect que cumple con la legislación actual, en concreto hemos usado el subprograma CATE.

### 4.2.1 Condiciones de diseño.

#### - Condiciones interiores de cálculo:

Para la estimación correcta de las condiciones interiores hay que tener en cuenta la normativa vigente; en nuestro caso debemos usar el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas IT.

Las condiciones interiores han de ser tales que sean capaces de satisfacer el bienestar térmico o confort de los ocupantes. Según el RITE, el ambiente térmico se define por aquellas características que condicionan los intercambios térmicos del cuerpo humano con el ambiente, en función de la actividad de la persona y del aislamiento térmico de su vestimenta, y que afecta a la sensación de bienestar de su vestimenta. Estas características son la temperatura del aire, la velocidad media del mismo en la zona ocupada y la humedad relativa.

Según la Instrucción Técnica IT 1.1.4.1.2. las condiciones interiores de diseño se fijarán en función de la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta.

Dichos valores se recogen en la siguiente tabla:

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 6. Condiciones interiores de diseño.

La temperatura operativa o temperatura seca elegida para el invierno ha sido 21°C y la humedad 50%.

#### - Condiciones exteriores de cálculo:

Para la selección de las condiciones exteriores del proyecto, se tiene en cuenta la norma UNE 100001 “Climatización. Condiciones climáticas para proyectos”, que quedan definidas de la siguiente manera sabiendo que la vivienda se sitúa en San Sebastián de los Reyes (Madrid):

- Temperatura seca = -3,7 °C
- Percentil condiciones de invierno = 97,5%
- Variación diurna de temperaturas = 15,8 °C
- Grados acumulados en base 15-15°C = 1403 días-grado





- Orientación del viento dominante = N
- Velocidad del viento dominante = 4,4 m/s
- Altura sobre el nivel del mar = 595,00 m
- Latitud = 40° 28' Norte

La temperatura seca es la temperatura medida por un termómetro en un recinto en el que las paredes y el aire están a la misma temperatura. Para medir la temperatura seca en un recinto en el que las paredes no están a la misma temperatura que el aire, se rodea el bulbo del termómetro con un cilindro de metal pulido que diste del bulbo alrededor de 1 cm de forma que estando en contacto con el aire ambiente no reciba los intercambios de calor por radiación entre el bulbo y las paredes del recinto. [°C].

La temperatura húmeda es la obtenida con un termómetro cuyo bulbo está rodeado por una camisa de algodón húmedo. El aire ambiente, cuya velocidad al pasar por el termómetro debe ser de 2 a 4 m/s, provoca una evaporación de la humedad de la camisa de algodón, y con esto un descenso de temperatura, que es función de la temperatura y de la humedad del aire ambiente. [°C].

Los grados día anuales son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los grados/día y la temperatura media del día, cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base.

### 4.3 Cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos.

Según el Apéndice E del Documento Básico HE (Ahorro de Energía) del CTE la transmitancia térmica se calcula con la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Donde:

- U: transmitancia térmica en W/m<sup>2</sup> K.
- R<sub>T</sub>: resistencia térmica total, que a su vez se calcula con:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Siendo R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>n</sub> : las resistencias térmicas de cada una de las capas que componen el cerramiento. Se obtienen utilizando la siguiente expresión:

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Donde:

- e<sub>i</sub>: espesor de cada capa.
- λ<sub>i</sub>: conductividad térmica del material que conforma la capa.
- R<sub>si</sub> y R<sub>se</sub>: resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior. Se toman de la siguiente tabla del DB HS teniendo en cuenta la posición del cerramiento y la dirección del flujo de calor.



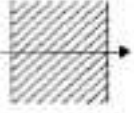

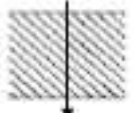
Resistencias térmicas superficiales		$R_{T_{ext}}$ ( $m^2K/W$ )	$R_{T_{int}}$ ( $m^2K/W$ )
Cerramiento vertical		0,04	0,13
Cerramiento horizontal (flujo ascendente)			0,10
Cerramiento horizontal (flujo descendente)			0,17

Tabla 7. Resistencias térmicas superficiales máximas.

A continuación pasaremos a detallar los valores de las diferentes transmitancias térmicas de los distintos cerramientos que nos proporciona el programa CATE perteneciente al software Dmelect. Este programa utiliza la librería de materiales de CTE-LIDER y tiene en cuenta que los cerramientos han de cumplir el CTE (no pueden sufrir condensaciones intersticiales ni superficiales y no deben superar la transmitancia límite de la zona climática donde se encuentra la vivienda).

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos <sup>(2)</sup>	0,69	0,58	0,65	0,64	0,52
Cubiertas <sup>(3)</sup>	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianeras	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

<sup>(2)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

<sup>(3)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanos no habitables, se consideran como cubiertas

Tabla 8. Transmitancias térmicas máximas de los cerramientos.

Según el Código Técnico de la Edificación, DB HE 1, para la limitación de la demanda energética se establecen 12 zonas climáticas identificadas mediante una letra, correspondiente a la división de invierno, y un número, correspondiente a la división de verano. En general, la zona climática donde se ubican los edificios se determinará a partir de los valores tabulados.

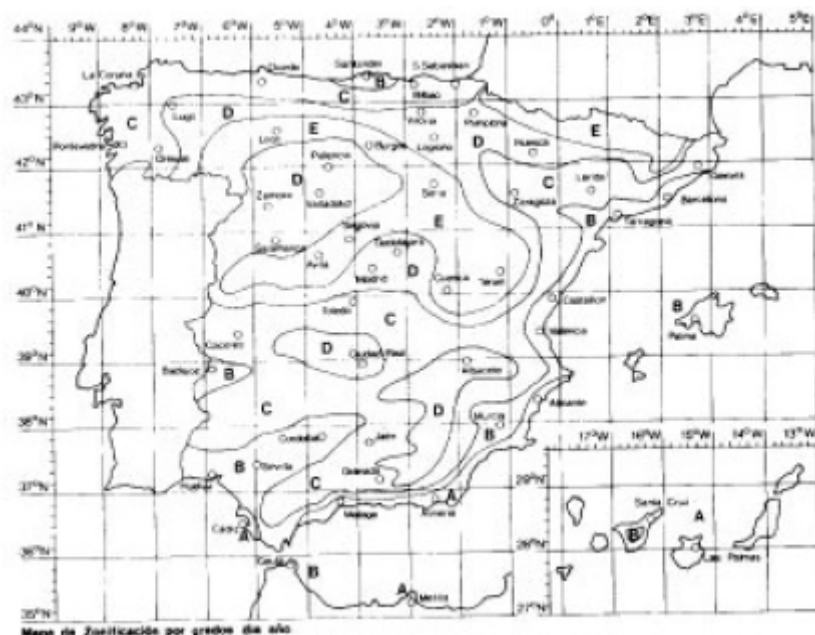


Figura 28. Mapa con las zonas climáticas.

Nuestra vivienda se encuentra en San Sebastián de los Reyes (Madrid) por lo tanto nos encontramos en la zona D. Dentro de la zona D se encuentran distintos niveles y a nosotros nos corresponde el nivel 3. La tabla con nuestras limitaciones aparece a continuación:

ZONA CLIMÁTICA D3									
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno				$U_{lim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$					
Transmitancia límite de suelos				$U_{lim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$					
Transmitancia límite de cubiertas				$U_{lim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$					
Factor solar modificado límite de lucernarios				$F_{lim}: 0,28$					

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{lim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{lim}$					
					Carga interna baja			Carga interna alta		
	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

<sup>(1)</sup> En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada  $U_{lm}$ , definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a  $0,47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  se podrá tomar el valor de  $U_{lim}$  indicado entre paréntesis para las zonas climáticas U1, U2 y U3.

Tabla 9. Transmitancias límite para la zona D3

El cálculo del porcentaje de huecos de la vivienda se ha calculado en la siguiente tabla:

Orientación	Superficie Fachada ( $\text{m}^2$ )	Superficie Huecos ( $\text{m}^2$ )	Superficie total ( $\text{m}^2$ )	% Superficie huecos ( $\text{m}^2$ )
N	34.95	6.68	41.63	16.04%
S	33.21	8.66	41.87	20.68%
<b>Total</b>	<b>68.16</b>	<b>15.34</b>	<b>83.5</b>	<b>18.37%</b>

Tabla 10. Datos calculados para nuestra vivienda del porcentaje de huecos.



En las siguientes tablas se pueden ver la composición de los diferentes cerramientos.

Solamente se han calculado los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos para el invierno, estos valores varían para el verano ya que el flujo de calor es el opuesto.

## Fachada

Desde el interior hacia el exterior:

Cerramiento: Fachada			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Enlucido de yeso d<1000	1.5	0.4	0.0375
Tabicón de LH triple [100mm<E<110mm]	10	0.427	0.2341
Cámara aire sin ventilar	5	0.2778	0.1799
Espuma de poliuretano [PU]	4	0.05	0.8
Tabicón de LH doble [60mm<E<90mm]	6	0.432	0.1388
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800<d<2000	1.5	1.3	0.011
<b>Total</b>	<b>28</b>		<b>1.4013</b>

Tabla 11. Detalles de los materiales que forman la fachada.

La fachada es un cerramiento vertical y con flujo de calor en invierno hacia el exterior luego:

$$R_{isk}=0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 1.5625 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0.64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor máximo de transmitancia en las fachadas que tenemos establecido para nuestra zona según la norma es  $U = 0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Nuestro valor es inferior a este, por lo tanto cumplimos la normativa.

## Cubierta

Desde el interior hacia el exterior:



Cerramiento: Cubierta Inclizada			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Enlucido de yeso d<1000	1.5	0.4	0.0375
Lámina polietileno baja densidad [LDPE]	25	1.64	0.01524
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. permeable a gases [0.03 W/[mK]]	4	0.03	1.333
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. permeable a gases [0.027 W/[mK]]	4	0.027	1.48
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	3	1.8	0.0166
Teja de arcilla cocida	2	1	0.02
<b>Total</b>	<b>39.5</b>		<b>2.9023</b>

Tabla 12. Detalles de los materiales que forman la cubierta.

Para el cálculo de la transmitancia se ha tenido en cuenta que el flujo de calor en invierno las cubiertas es ascendente:

$$R_{si}=0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 3.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor máximo de transmitancia en la cubierta que tenemos establecido para nuestra zona según la norma es  $U = 0.49 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Nuestro valor es inferior a este, por lo tanto cumplimos la normativa.

## Forjado

Desde abajo hacia arriba:

Cerramiento: Forjado entreplantas			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Enlucido de yeso d<1000	7.5	0.4	0.1875
Cámara aire sin ventilar	10	0,5263	0.19
FR entrevigado cerámico - Canto 250 mm	25	1.64	0.1524
MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]	3	0.031	0.9677
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	1.5	1.8	0.0083
Mármol [2600<d<2800]	5	3.5	0.0142
<b>Total</b>	<b>52</b>		<b>1.5201</b>

Tabla 13. Detalles de los materiales que forman el forjado de entreplantas.

En este cerramiento el flujo de calor es descendente:



$$R_{si}=0,17\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 1.7301\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0.57\text{ W/m}^2\text{K}$$

Nuestro valor de transmitancia en el forjado entreplantas está por debajo del valor máximo establecido por el reglamento CTE-DBHE.

## Solera

Desde abajo hacia arriba:

Cerramiento: Forjado antihumedad con imperm. y aislam.			
Material	E (cm)	$\lambda(\text{W/mK})$	R ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Cámara aire ventilada	10	0,5263	0.19
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30	1.422	0.2109
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	6	0.041	1.4634
Lámina polietileno baja densidad [LDPE]	0.01	0.33	0.0003
Hormigón en masa 2000<d<2300	4	1.65	0.0242
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido d>2000	3	1.8	0.0166
Plaqueta o baldosa cerámica	1	1	0.01
<b>Total</b>	<b>54.01</b>		<b>1.9145</b>

*Tabla 14. Detalles de los materiales que forman la solera.*

En este cerramiento el flujo de calor es descendente:

$$R_{si}=0,17\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 2.1245\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0.47\text{ W/m}^2\text{K}$$

Nuestro valor de transmitancia en el forjado entreplantas está por debajo del valor máximo establecido por el reglamento CTE-DBHE.



## Tabique interior

Desde el interior hacia el exterior:

Cerramiento: Tabiques interiores			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Placa de yeso laminado [PYL] 750<d<900	5	0.25	0.2
Cámara aire sin ventilar	5	0.5263	0.095
MW Lana mineral [0.031 W/[mK]]	3	0.031	0.9677
Placa de yeso o escayola 750<d<900	5	0.25	0.2
<b>Total</b>	<b>18</b>		<b>1.4627</b>

Tabla 15. Detalles de los materiales que forman los tabiques interiores.

La fachada es un cerramiento vertical y con flujo de calor en invierno hacia el exterior luego:

$$R_{si}=0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 1.8181\text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0.55\text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor máximo de transmitancia en los muros que tenemos establecido para nuestra zona según la norma es  $U = 0.86\text{ W/m}^2\text{K}$ . Nuestro valor es inferior a este, por lo tanto cumplimos la normativa.

## Puertas

Desde el interior hacia el exterior:

Cerramiento: Puerta exterior			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Madera Opaca	3.5	0.21	0.167
<b>Total</b>	<b>3.5</b>		<b>0.167</b>

Tabla 16. Detalles de los materiales que forman la puerta exterior.

Las puertas presentan flujo vertical de calor

$$U = 2.4\text{ W/m}^2\text{K}$$

Cerramiento: Puertas interiores			
Material	E (cm)	$\lambda$ (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Madera Opaca	2	0.08	0.25
<b>Total</b>	<b>2</b>		<b>0.25</b>

Tabla 17. Detalles de los materiales que forman las puertas interiores.





$$U = 2.03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Ventanas

Cerramiento: Tabiques interiores			
Material	E (cm)	$\lambda(\text{W/mK})$	R ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Vidrio plano para acristalar	0.6	0.95	0.0063
Cámara de aire sin ventilar	1.2		0.17
Vidrio plano para acristalar	0.6	0.95	0.0063
<b>Total</b>	<b>2.4</b>		<b>0.35</b>

Tabla 18. Detalles de los materiales que forman las ventanas.

La ventana presenta un flujo de calor vertical:

$$R_{si}=0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 2.84 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El valor cumple la normativa del CTE DBHE.

Una vez que hemos establecido los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos y las condiciones interiores y exteriores de cálculo, procederemos al cálculo de la carga térmica de nuestro diseño, que se obtiene con las condiciones más desfavorables y servirá para dimensionar los equipos que harán frente a esa demanda.

## 4.4 Método de cálculo de las cargas internas

El método de cálculo que hemos utilizado es el Método de la Función de Transferencia (TMF), este método corresponde al descrito por ASHRAE en su publicación HVAC Fundamentals de 2009. Este método tiene como fundamento el estimar las cargas de calentamiento hora por hora y es aplicado para el cálculo de flujo unidimensional de transferencia de calor en paredes y techos. La ASHRAE generó factores de decremento efectivos de calor para 41 tipos diferentes de pared y 42 tipos de techo, que son presentados para utilizarse como coeficientes de la función de transferencia.

La potencia térmica máxima para calefacción se calcula para la situación más desfavorable (según las tablas UNE 100014-84). Dicha situación se produce a temperatura mínima, radiación solar nula y mínima presencia de personas, luces y motores. Al tratarse de un sistema de calefacción hay que tener en cuenta que las cargas son pérdidas de calor, al mantenerse una temperatura ambiente superior a la temperatura exterior, excepto en el caso de las cargas internas.



### **Ganancias térmicas instantáneas.**

El primer paso que se debe realizar es el cálculo para cada mes y cada hora de la ganancia o pérdida de calor instantánea debida a cada uno de los siguientes elementos:

#### **• Transmisión paredes y techos**

Cerramientos opacos al exterior, excepto los que no reciben los rayos solares. La ganancia instantánea para cada hora se calcula usando la siguiente función de transferencia (ASHRAE):

$$Q_{GAN,t} = A \times \left[ \sum_{n=0} b_n \times (t_{sa,t-n\Delta}) - \sum_{n=1} d_n \times \frac{(Q_{GAN,t-n\Delta})}{A} - t_{ai} \times \sum_{n=0} c_n \right]$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el ambiente a través de la superficie interior del techo o pared (w)

$A$  = Área de la superficie interior (m<sup>2</sup>)

$T_{sa,t-n\Delta}$  = Temperatura sol aire en el instante  $t-n\Delta$

$\Delta$  = Incremento de tiempos igual a 1 hora.

$t_{ai}$  = Temperatura del espacio interior supuesta constante

$b_n, c_n, d_n$  = Coeficientes de la función de transferencia según el tipo de cerramiento.

La temperatura sol-aire sirve para corregir el efecto de los rayos solares sobre la superficie exterior del cerramiento:

$$t_{sa} = t_{ec} + \alpha \times \frac{I_t}{h_0} - \varepsilon \times \frac{AR}{h_0} \times \cos(90^\circ - \beta)$$

Donde:

$t_{sa}$  = Temperatura sol-aire para un mes y una hora dadas (°C)

$t_{ec}$  = Temperatura seca exterior corregida según mes y hora (°C)

$I_t$  = Radiación solar incidente en la superficie (w/m<sup>2</sup>)

$h_0$  = Coeficiente de convección exterior (w/m<sup>2</sup> °C)

$\alpha$  = Coeficiente de absorción a la radiación de la pared exterior (varia con el color)

$\beta$  = Ángulo de inclinación del cerramiento respecto de la vertical (horizontales 90°).

$\varepsilon$  = Emitancia hemisférica de la superficie.

$AR$  = Diferencia de radiación superficie/cuerpo negro (w/m<sup>2</sup>).

#### **• Transmisión excepto paredes y techos**

##### **• Cerramientos al interior**

Ganancias instantáneas por transmisión en cerramientos opacos interiores y que no están expuestos a los rayos solares.

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_i - t_{ai})$$



Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (W)

K = Coeficiente de transmisión del cerramiento ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

A = Área de la superficie interior ( $m^2$ )

$t_l$  = Temperatura del local contiguo ( $^\circ C$ )

$t_{ai}$  = Temperatura del espacio interior supuesta constante ( $^\circ C$ )

- **Acristalamientos al exterior**

Ganancias instantáneas por transmisión en superficies acristaladas al exterior.

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_{ec} - t_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (W)

K = Coeficiente de transmisión del cerramiento ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

A = Área de la superficie interior ( $m^2$ )

$t_{ec}$  = Temperatura exterior corregida ( $^\circ C$ )

$t_{ai}$  = Temperatura del espacio interior supuesta constante ( $^\circ C$ )

- **Puertas al exterior**

Un caso especial son las puertas al exterior, en las que hay que distinguir según su orientación:

$$Q_{GAN,t} = K \times A \times (t_l - t_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (W)

K = Coeficiente de transmisión del cerramiento ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

A = Área de la superficie interior ( $m^2$ )

$t_{ai}$  = Temperatura del espacio interior supuesta constante ( $^\circ C$ )

$t_l$  = Para orientación Norte: Temperatura exterior corregida ( $^\circ C$ )

Excepto orientación Norte: Temperatura sol-aire para el instante t ( $^\circ C$ )

- **Calor interno**

- **Ocupación (personas)**

Calor generado por las personas que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número de personas y del tipo de actividad que están desarrollando. Los ocupantes aportan carga sensible y carga latente.

$$Q_{GANs,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

$Q_{GANs,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$Q_s$  = Ganancia sensible por persona (w). Depende del tipo de actividad

n = Número de ocupantes

$Fd_t$  = Porcentaje de ocupación para el instante t (%). Su valor ronda el 75%.



Se considera que 67% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

$$Q_{GANI,t} = Q_l \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

$Q_{GANI,t}$  = Ganancia de calor latente en el instante t (w)

$Q_l$  = Ganancia latente por persona (w). Depende del tipo de actividad

n = Número de ocupantes

$Fd_t$  = Porcentaje de ocupación para el instante t (%). Su valor ronda el 75%.

Los valores de la ganancia sensible y latente por persona, dependen del tipo de actividad que esté realizando, valor que está íntimamente relacionado con el tipo de utilización de la zona de la vivienda. En la siguiente tabla se precisan dichos valores para las distintas habitaciones:

Zona	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)
Dormitorios	71	31
Baños	89	121
Cocina	98	129
Salón-Comedor	71	31
Pasillos	89	121

*Tabla 19. Datos de calor sensible y latente para las habitaciones de la vivienda.*



El calor de los ocupantes no se suele considerar en las instalaciones de calefacción de viviendas, ya que se supone que el sistema debe ser capaz de funcionar con una única persona presente. Pero en la tabla que se muestra a continuación se puede observar el valor de la ocupación de cada sala, además del calor sensible y latente aportado por cada persona. Los datos aportados de calor sensible y latente están especificados por persona y a una temperatura de 25°C.

Habitación	Actividad	Nº de Personas	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)
Dormitorio Principal	Sentado, tumbado, en reposo.	2	71	31
Dormitorio 2	Sentado, tumbado, en reposo	2	71	31
Dormitorio 3	Sentado, tumbado, en reposo	2	71	31
Dormitorio 4	Sentado, tumbado, en reposo	2	71	31
Baño 1	Persona de pie	1	89	121
Baño 2	Persona de pie	1	89	121
Aseo	Persona de pie	1	89	121
Cocina	Trabajo ligero	4	98	129
Salón-Comedor	Sentado, en reposo	8	71	31
Despacho	Oficinista, actividad moderada	2	71	31
Recibidor	Persona que pasea	3	89	121
Pasillo 2ª Planta	Persona que pasea	3	89	121

*Tabla 20. Datos definidos por Dmelect sobre el número de ocupación típicos para cada sala y su correspondiente calor latente y sensible.*

### • Alumbrado

Calor generado por los aparatos de alumbrado que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:



$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (W)

$Q_s$  = Potencia por luminaria (W). Para fluorescente se multiplica por 1'25.

n = Número de luminarias.

$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%).

Para nuestro caso de estudio se ha considerado una potencia de iluminación, igual para toda la vivienda y de valor 15 W/m<sup>2</sup>. El porcentaje de funcionamiento tomado es de un 10%.

- **Aparatos eléctricos**

Calor generado por los aparatos exclusivamente eléctricos que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos del que se disponga en cada habitación.

$$Q_{GAN,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$Q_s$  = Ganancia sensible por aparato (w). Depende del tipo.

n = Número de aparatos.

$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%). El porcentaje de funcionamiento tomado es de un 10%.

Se considera que el 60% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

- **Aparatos térmicos**

Calor generado por los aparatos térmicos que se encuentran dentro de cada local. Este calor es función principalmente del número y tipo de aparatos.

$$Q_{GANS,t} = Q_s \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

$Q_{GANS,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$Q_s$  = Ganancia sensible por aparato (w). Depende del tipo.

n = Número de aparatos.

$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%). El porcentaje de funcionamiento tomado es de un 10%.

Se considera que el 60% del calor sensible se disipa por radiación y el resto por convección.

$$Q_{GANI,t} = Q_l \times n \times 0'01 \times Fd_t$$

Donde:

$Q_{GANI,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$Q_l$  = Ganancia sensible por aparato (w). Depende del tipo.

n = Número de aparatos.



$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante  $t$  (%). El porcentaje de funcionamiento tomado es de un 10%.

Los niveles de iluminación y de potencia de los equipos eléctricos que se emplearán en cada habitación están enumerados en la siguiente tabla:

Habitación	Tipo iluminación	Nº	Potencia	W/m <sup>2</sup>
Salón-Comedor	Alumbrado típico	37	15	15
Salón-Comedor	Televisor	1	250	6.7
Dormitorio Principal	Alumbrado típico	18	15	15
Dormitorio Principal	Televisor	1	250	13.33
Dormitorio 2	Alumbrado típico	13	15	15
Dormitorio 3	Alumbrado típico	13	15	15
Dormitorio 3	Ordenador	1	250	18.75
Dormitorio 4	Alumbrado típico	13	15	15
Cocina	Alumbrado típico	12	15	15
Cocina	Horno-Microondas	1	800	67.22
Cocina	Televisor	1	250	21
Cocina	Nevera	1	200	16.8
Aseo	Alumbrado típico	3	15	15
Baño 1	Alumbrado típico	5	15	15
Baño 2	Alumbrado típico	5	15	15
Despacho	Alumbrado típico	10	15	15
Despacho	Ordenador	1	250	25.51
Vestíbulo	Alumbrado típico	6	15	15
Pasillo	Alumbrado típico	7	15	15
<b>Total</b>			<b>4380 W</b>	

*Tabla 21. Nivel de iluminación y potencia de los elementos de la vivienda.*





## • Aire exterior

Ganancias instantáneas de calor debido al aire exterior de ventilación.

$$Q_{GAN,t} = 0'34 \times f_a \times V_{aes} \times 0'01 \times Fd_t \times (t_{ec} - t_{ai})$$

Donde:

$Q_{GAN,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$f_a$  = Coeficiente corrector por altitud geográfica.

$V_{ae}$  = Caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/h).

$t_{ec}$  = Temperatura seca exterior corregida (°C).

$t_{ai}$  = Temperatura del espacio interior supuesta constante (°C)

$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%)

Se considera que el 100% del calor sensible aparece por convección.

$$Q_{GANI,t} = 0'83 \times f_a \times V_{aes} \times 0'01 \times Fd_t \times (X_{ec} - X_{ai})$$

Donde:

$Q_{GANI,t}$  = Ganancia de calor sensible en el instante t (w)

$f_a$  = Coeficiente corrector por altitud geográfica.

$V_{ae}$  = Caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/h).

$X_{ec}$  = Humedad específica exterior corregida (gr agua/kg aire).

$X_{ai}$  = Humedad específica del espacio interior (gr agua/kg aire).

$Fd_t$  = Porcentaje de funcionamiento para el instante t (%).

El caudal de aire de ventilación se obtiene en función del uso del local, de su superficie y del número de ocupantes, aplicando la siguiente tabla del Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación.

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Lo- ca- les	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local <sup>(1)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

(1) Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Tabla 22. Ventilación mínima exigida por el DBHS 3.



Los niveles de ventilación asignados a cada zona son los que aparecen en la siguiente tabla:

Habitación	Calidad	Por persona (m <sup>3</sup> /h)	Por m <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /h)	Valor elegido (m <sup>3</sup> /h)
Salón-Comedor	CTE HS-3	10,8		86,4
Vestíbulo	CTE HS-3		2	46
Despacho	CTE HS-3	28,8		57,6
Dormitorio Principal	CTE HS-3	18		54
Dormitorio 2	CTE HS-3	18		36
Dormitorio 3	CTE HS-3	18		36
Dormitorio 4	CTE HS-3	18		36

*Tabla 23. Niveles de ventilación.*

#### • Infiltraciones

El caudal de aire de infiltración es variable según la estanqueidad de las puertas y ventanas, la porosidad de las paredes del edificio, su altura, escaleras, dirección y velocidad del viento, y caudales relativos de aire de ventilación y extracción. Muchos de estos factores no pueden ser calculados con exactitud y deben ser objeto de una estimación más o menos empírica. Para el cálculo de las infiltraciones se considerará un porcentaje (un 20%) de la carga por ventilación.

El horario de funcionamiento de la calefacción es desde las 7 h de la mañana hasta las 23 h de la noche.

Los valores de los suplementos por orientación que se tendrán en cuenta son los siguientes:

COEFICIENTES DE ORIENTACIÓN
Orientación Norte + 15%
Orientación Sur + 00%
Orientación Este + 10%
Orientación Oeste + 5%

*Tabla 24. Coeficientes de orientación de la vivienda.*

La pérdida total será la suma de las pérdidas debidas a los cerramientos verticales y horizontales y a las pérdidas de renovación e infiltración más la carga latente de los caudales de infiltración y renovación. En cuanto a las ganancias se considerará un pequeño porcentaje del calor aportado por la iluminación y por aparatos eléctricos.

A continuación se muestran las hojas de cargas para cada habitación de la vivienda:



Cargas Térmicas: Vestíbulo						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ Exterior$		$T^\circ Interior$		Diferencia	Volumen Habitación ( $m^3$ )
°C	-3,7°		21		24,7	54,11
Perdidas de calor por Transmisión						
Cerramiento	Orientación	Suplemento por orientación	Superficie de cerramiento	Coeficiente de Transmitancia ( $W/m^2\ ^\circ K$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$	Carga de calefacción (W)
Pared ext.	N	1,15	3,22	0,64	-3,7	51
Puerta ext.	N	1,15	2,04	2,4	-3,7	121
Pared ext.	O	1,05	7,11	0,64	-3,7	112
Pared inter.			2,34	0,55	8,7	17
Techo	Horizontal	1	22,62	0,57	8,7	162
Suelo	Horizontal	1	22,62	0,47	3	285
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			2,499	2,03	8,7	43
Total	902					
Ventilación Aire Exterior						
Caudal Aire Exterior ( $m^3/h$ )		Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$			Carga de calefacción (W)	
46		-3,7			337	
Infiltraciones						
					Carga de calefacción (W)	
20 % Carga por ventilación					67,4	
Aportaciones Internas de Calor						
Elemento		Potencia (W)		Unidades	Carga de calefacción (W)	
15 W/m² Alumbrado		15		6	90	
10% Coeficiente de simultaneidad		-9				
Carga Térmica Total						1297,4 W

Tabla 25. Cargas térmicas del vestíbulo.



Cargas Térmicas: Aseo						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^{\circ} Exterior$		$T^{\circ} Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	11,9
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ }^{\circ}K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^{\circ}C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	E	1,10	4,66	0,64	-3,7	74
Pared int.			7,12	0,55	8,7	51
Techo	Horizontal	1	5,4	0,57	8,7	39
Suelo	Horizontal	1	5,4	0,47	3	68
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	269					
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación					10	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$			$Potencia (W)$		$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$
15 W/m² Alumbrado			15		3	45
10% Coeficiente de simultaneidad			-4,5			
Carga Térmica Total						274,5 W

Tabla 26. Cargas térmicas del aseo.



Cargas Térmicas: Despacho						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ$ Exterior		$T^\circ$ Interior		Diferencia	Volumen Habitación ( $m^3$ )
°C	-3,7°		21		24,7	25,01
Perdidas de calor por Transmisión						
Cerramiento	Orientación	Suplemento por orientación	Superficie de cerramiento	Coeficiente de Transmitancia ( $W/m^2\ ^\circ K$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$	Carga de calefacción (W)
Pared ext.	N	1,15	5,84	0,64	-3,7	92
Ventana Plástico	N	1,15	1,08	2,84	-3,7	76
Pared ext.	O	1,05	8,96	0,64	-3,7	142
Techo	Horizontal	1	10,08	0,57	8,7	72
Suelo	Horizontal	1	10,08	0,47	3	127
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total						546
Ventilación Aire Exterior						
Caudal Aire Exterior ( $m^3/h$ )		Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$			Carga de calefacción (W)	
57,6		-3,7			469	
Infiltraciones						
					Carga de calefacción (W)	
20 % Carga por ventilación					93,8	
Aportaciones Internas de Calor						
Elemento		Potencia (W)		Unidades	Carga de calefacción (W)	
Ordenador		250		1	250	
15 W/m² Alumbrado		15		10	150	
10% Coeficiente de simultaneidad		-40				
Carga Térmica Total						1068,8 W

Tabla 27. Cargas térmicas del despacho.



## Cargas Térmicas: Salón-Comedor

### Condiciones de Cálculo para el invierno

$T_s$	$T^\circ \text{ Exterior}$	$T^\circ \text{ Interior}$	Diferencia	Volumen Habitación ( $m^3$ )
$^\circ\text{C}$	-3,7°	21	24,7	94,5

### Perdidas de calor por Transmisión

Cerramiento	Orientación	Suplemento por orientación	Superficie de cerramiento	Coefficiente de Transmitancia ( $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ\text{C})$	Carga de calefacción (W)
Pared ext.	O	1,05	10,61	0,64	-3,7	168
Pared ext.	S	1	6,49	0,64	-3,7	103
Ventana Plástico	S	1	0,92	2,84	-3,7	64
Pared ext.	SO	1,035	3,24	0,64	-3,7	51
Pared ext.	S	1	5,65	0,64	-3,7	89
Ventana Plástico	S	1	4,44	2,84	-3,7	311
Pared ext.	E	1,10	11,98	0,64	-3,7	189
Suelo	Horizontal	1	38,11	0,47	3	480
Techo	Horizontal	1	38,11	0,57	8,7	272
Puerta			2,499	2,03	8,7	37
<b>Total</b>	<b>1759</b>					

### Ventilación Aire Exterior

Caudal Aire Exterior ( $m^3/h$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ\text{C})$	Carga de calefacción (W)
86,4	-3,7	<b>704</b>

### Infiltraciones

	Carga de calefacción (W)
20 % Carga por ventilación	<b>140,8</b>

### Aportaciones Internas de Calor

Elemento	Potencia (W)	Unidades	Carga de calefacción (W)
Televisor	250	1	250
15 W/m <sup>2</sup> Alumbrado	37	10	370
<b>10% Coeficiente de simultaneidad</b>	<b>-62</b>		

**Carga Térmica Total**

**2541,8 W**

Tabla 28. Cargas térmicas del salón-comedor.



Cargas Térmicas: Cocina						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^{\circ} Exterior$		$T^{\circ} Interior$		Diferencia	Volumen Habitación ( $m^3$ )
°C	-3,7°		21		24,7	28,39
Perdidas de calor por Transmisión						
Cerramiento	Orientación	Suplemento por orientación	Superficie de cerramiento	Coeficiente de Transmitancia ( $W/m^2\ ^{\circ}K$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^{\circ}C)$	Carga de calefacción (W)
Pared ext.	N	1,15	4,82	0,64	-3,7	76
Ventana Plástico	N	1,15	2,3	2,84	-3,7	162
Pared int.			5,61	0,55	8,7	40
Puerta			1,51	2,03	8,7	40
Pared ext.	E	1,10	9,89	0,64	-3,7	156
Suelo	Horizontal	1	11,45	0,47	3	110
Techo	Horizontal	1	11,45	0,57	8,7	82
Puerta			1,701	2,03	8,7	37
Total						703
Infiltraciones						
					Carga de calefacción (W)	
20 % Carga por ventilación					72	
Aportaciones Internas de Calor						
Elemento		Potencia (W)		Unidades	Carga de calefacción (W)	
Televisor		250		1	250	
Horno-Microondas		800		1	800	
Nevera		200		1	200	
15 W/m² Alumbrado		12		10	120	
10% Coeficiente de simultaneidad		-137				
Carga Térmica Total						638 W

Tabla 29. Cargas térmicas de la cocina.





Cargas Térmicas: Dormitorio Principal						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ Exterior$		$T^\circ Interior$		Diferencia	Volumen Habitación ( $m^3$ )
°C	-3,7°		21		24,7	59,53
Perdidas de calor por Transmisión						
Cerramiento	Orientación	Suplemento por orientación	Superficie de cerramiento	Coeficiente de Transmitancia ( $W/m^2\ ^\circ K$ )	Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$	Carga de calefacción (W)
Pared ext.	S	1	12,99	0,64	-3,7	205
Ventana Plástico	S	1	1,65	2,84	-3,7	116
Pared ext.	E	1,10	12,18	0,64	-3,7	193
Cubierta	Horizontal	1	3,25	0,31	-3,7	25
Cubierta	Horizontal	1	14,37	0,31	-3,7	110
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	686					
Ventilación Aire Exterior						
Caudal Aire Exterior ( $m^3/h$ )		Temperatura ambiente contiguo $T_{ac}(^\circ C)$			Carga de calefacción (W)	
54		-3,7			440	
Infiltraciones						
					Carga de calefacción (W)	
20 % Carga por ventilación					88	
Aportaciones Internas de Calor						
Elemento		Potencia (W)		Unidades	Carga de calefacción (W)	
15 W/m² Alumbrado		15		18	270	
Televisor		250		1	250	
10% Coeficiente de simultaneidad		-52				
Carga Térmica Total						1162 W

Tabla 30. Cargas térmicas del dormitorio principal.



Cargas Térmicas: Dormitorio 2						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ Exterior$		$T^\circ Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	42
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ } ^\circ K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^\circ C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	N	1,15	11,9	0,64	-3,7	188
Ventana Plástico	N	1,15	1,65	2,84	-3,7	116
Pared ext.	E	1,10	10,61	0,64	-3,7	168
Cubierta	Horizontal	1	0,52	0,31	-3,7	4
Cubierta	Horizontal	1	11,39	0,31	-3,7	87
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	600					
Ventilación Aire Exterior						
$Caudal Aire Exterior (m^3/h)$		$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^\circ C)$			$Carga de calefacción (W)$	
36		-3,7			293	
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación					58,6	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$		$Potencia (W)$		$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$	
15 W/m² Alumbrado		15		13	195	
10% Coeficiente de simultaneidad		-19,5				
Carga Térmica Total						932,1 W

Tabla 31. Cargas térmicas del dormitorio 2.



Cargas Térmicas: Dormitorio 3						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ Exterior$		$T^\circ Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	44,2
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ } ^\circ K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^\circ C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	O	1,05	15,34	0,64	-3,7	242
Pared ext.	S	1	8,08	0,64	-3,7	128
Ventana Plástico	S	1	1,65	2,84	-3,7	116
Cubierta	Horizontal	1	12,96	0,31	-3,7	99
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	622					
Ventilación Aire Exterior						
$Caudal Aire Exterior (m^3/h)$			$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^\circ C)$		$Carga de calefacción (W)$	
36			-3,7		293	
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación					58,6	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$			$Potencia (W)$		$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$
15 W/m² Alumbrado			15		13	195
Ordenador			250		1	250
10% Coeficiente de simultaneidad			-44,5			
Carga Térmica Total						929,1 W

Tabla 32. Cargas térmicas del dormitorio 3.



Cargas Térmicas: Dormitorio 4						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^{\circ} Exterior$		$T^{\circ} Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	40,04
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ }^{\circ}K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^{\circ}C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	N	1,15	9,17	0,64	-3,7	145
Ventana Plástico	N	1,15	1,65	2,84	-3,7	116
Pared ext.	O	1,05	11,73	0,64	-3,7	185
Cubierta	Horizontal	1	11,88	0,31	-3,7	91
Cubierta	Horizontal	1	0,11	0,31	-3,7	1
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total						575
Ventilación Aire Exterior						
$Caudal Aire Exterior (m^3/h)$		$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^{\circ}C)$			$Carga de calefacción (W)$	
36		-3,7			293	
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación					58,6	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$		$Potencia (W)$		$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$	
15 W/m² Alumbrado		15		13	195	
10% Coeficiente de simultaneidad		-19,5				
Carga Térmica Total						907,1 W

Tabla 33. Cargas térmicas del dormitorio 4.



Cargas Térmicas: Baño 1						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^{\circ} Exterior$		$T^{\circ} Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	16,51
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ }^{\circ}K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^{\circ}C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	E	1,10	6,01	0,64	-3,7	95
Cubierta	Horizontal	1	4,87	0,31	-3,7	37
Suelo	Horizontal	1	4,87	0,57	8,7	21
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	190					
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación 1 renovación/hora					14	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$			$Potencia (W)$	$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$	
15 W/m² Alumbrado			15	5	75	
10% Coeficiente de simultaneidad			-7,5			
Carga Térmica Total						196,5 W

Tabla 34. Cargas térmicas del baño 1.



Cargas Térmicas: Baño 2						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
$T_s$	$T^\circ Exterior$		$T^\circ Interior$		$Diferencia$	$Volumen Habitación (m^3)$
°C	-3,7°		21		24,7	16,51
Perdidas de calor por Transmisión						
$Cerramiento$	$Orientación$	$Suplemento por orientación$	$Superficie de cerramiento$	$Coeficiente de Transmitancia (W/m^2 \text{ }^\circ K)$	$Temperatura ambiente contiguo T_{ac}(^\circ C)$	$Carga de calefacción (W)$
Pared ext.	E	1,10	6,01	0,64	-3,7	95
Cubierta	Horizontal	1	4,87	0,31	-3,7	37
Suelo	Horizontal	1	4,87	0,57	8,7	21
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total	190					
Infiltraciones						
					$Carga de calefacción (W)$	
20 % Carga por ventilación 1 renovación/hora					14	
Aportaciones Internas de Calor						
$Elemento$			$Potencia (W)$	$Unidades$	$Carga de calefacción (W)$	
15 W/m² Alumbrado			15	5	75	
10% Coeficiente de simultaneidad			-7,5			
Carga Térmica Total						196,5 W

Tabla 35. Cargas térmicas del baño 2.



Cargas Térmicas: Pasillo Planta Superior						
Condiciones de Cálculo para el invierno						
<i>T<sub>s</sub></i>	<i>T° Exterior</i>		<i>T° Interior</i>		<i>Diferencia</i>	<i>Volumen Habitación (m³)</i>
°C	-3,7°		21		24,7	25,12
Perdidas de calor por Transmisión						
<i>Cerramiento</i>	<i>Orientación</i>	<i>Suplemento por orientación</i>	<i>Superficie de cerramiento</i>	<i>Coeficiente de Transmitancia (W/m² °K)</i>	<i>Temperatura ambiente contiguo T<sub>ac</sub>(°C)</i>	<i>Carga de calefacción (W)</i>
Pared ext.	O	1,05	8,54	0,64	-3,7	135
Cubierta	Horizontal	1	7,88	0,31	-3,7	66
Cubierta	Horizontal	1	1,68	0,31	-3,7	18
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Puerta			1,512	2,03	8,7	37
Total						367
Infiltraciones						
					<i>Carga de calefacción (W)</i>	
20 % Carga por ventilación 1 renovación/hora					34	
Aportaciones Internas de Calor						
<i>Elemento</i>			<i>Potencia (W)</i>		<i>Unidades</i>	<i>Carga de calefacción (W)</i>
15 W/m² Alumbrado			15		7	105
10% Coeficiente de simultaneidad			-10,5			
Carga Térmica Total						390,5 W

Tabla 36. Cargas térmicas del pasillo de la planta superior.





En la siguiente tabla vemos un resumen de las cargas térmicas de la vivienda:

Habitación	Área (m <sup>2</sup> )	Perdidas por transmisión	Ventilación	Infiltraciones	Carga Térmica (W)
Vestíbulo	16,85	902	337	67,4	1297,4
Aseo	3,75	269		10	274,5
Despacho	9,80	546	469	938	1068,8
Salón-Comedor	37,10	1759	704	140,8	2541,8
Cocina	11,90	703		72	638
Dormitorio Principal	18,75	686	440	88	1162
Dormitorio 2	13	600	293	53,6	932,1
Dormitorio 3	13,35	622	293	58,6	929,1
Dormitorio 4	12,40	575	293	58,6	907,1
Baño 1	5,20	190		14	196,5
Baño 2	5,20	190		14	196,5
Pasillo Planta Superior	7,90	367		34	390,5
<b>Total</b>	<b>155,2</b>	<b>7409</b>	<b>2829</b>	<b>1549</b>	<b>10534,3</b>

*Tabla 37. Resumen de las cargas térmicas de cada vivienda.*



## 4.5 Agua Caliente Sanitaria

Para realizar el cálculo del sistema de acumulación de A.C.S. se toman los valores medios estimados por la Normativa de Sostenibilidad de la Comunidad de Madrid. Esta norma asigna como valor mínimo de consumo para una vivienda unifamiliar 30 litros por persona y por día. Los cálculos serán realizados teniendo en cuenta un consumo de 67 litros y para una vivienda de cuatro dormitorios establece una ocupación media de 6 personas. Por tanto, el consumo diario mínimo sería de 180 litros. Los cálculos de la instalación de A.C.S. van a ser realizados para un consumo de 400 litros.

El proceso de cálculo empleado tiene como finalidad el poder determinar el volumen del depósito de almacenamiento (V) y la potencia de calentamiento (P). Para ello se considera que la temperatura mínima de entrada del agua en la instalación es fijada en 10°C, que la temperatura de utilización va a ser de 42°C, que es suficiente para cubrir los usos higiénicos e incluso para lavavajillas y lavadoras de uso doméstico, y que la temperatura de preparación va a ser de 55°C, que es la temperatura a la funciona el intercambiador de recuperación para la obtención de A.C.S. de la bomba de calor agua-agua.

Una vez fijadas las diferentes temperaturas y consumo diario, es necesario establecer el consumo medio horario de punta. Faltan datos en nuestro país de mediciones en los edificios existentes; por ello, se van a considerar los caudales dados como una fracción del consumo máximo diario. Para una vivienda unifamiliar, el consumo medio diario de punta se corresponde con el valor  $\frac{1}{4}$ .

El tiempo de preparación, según el reglamento ITE-02 del RITE, no puede ser inferior a tres horas, para el caso concreto de estudio se considera un tiempo de preparación de 4 horas. Las horas totales de consumo establecidas en un día para una vivienda son 18 y el total de horas punta son 3. En último lugar es necesario fijar la relación entre la duración máxima del consumo de punta y el total del tiempo de punta que para una vivienda toma el valor 0,4.

Las consideraciones anteriores quedan reflejas en la siguiente tabla en función de la denominación empleada en las fórmulas de cálculos:

Temperatura de entrada	$t_e=10^\circ\text{C}$
Temperatura de utilización	$t_u=42^\circ\text{C}$
Temperatura de preparación	$t_p=55^\circ\text{C}$
Consumo máximo diario de A.C.S	$C_d=400 \text{ l/día}$
Consumo medio horario de punta de A.C.S	$C=0,0111 \text{ l/s}$
Tiempo de preparación entra cada consumo punta	$h_p= 7200 \text{ s}$
Duración del consumo de punta	$h_c= 3600 \text{ s}$
Tiempo total de consumo de punta	$\Sigma h_c= 14400 \text{ s}$
Tiempo total de consumo en un día	$n= 64800 \text{ s}$
Volumen de almacenamiento	$\text{dm}^3$
Potencia de calentamiento	$\text{kW}$

Tabla 38. Valores de cálculo del sistema de ACS.



A partir de estos datos se aplican las siguientes fórmulas:

$$V = \frac{h_p \cdot h_c}{h_p + h_c} (t_u - t_e) \frac{C - \frac{C_d - C \cdot \sum h_c}{n - \sum h_c}}{t_p - 0,4 \cdot t_u - 0,6 \cdot t_e} = 15,14 \text{ l}$$

$$P = 4,19 \cdot \frac{t_u - t_e}{h_p + h_c} \cdot \left[ h_c \cdot C + \left( C_d - C \cdot \sum h_c \right) \cdot \frac{h_p}{n - \sum h_c} \right] = 0,922 \text{ kW}$$

Con estos cálculos sabremos el volumen de nuestro depósito de almacenamiento y a potencia extra que debe aportar nuestra bomba de calor.



## 4.6 Diseño del Intercambiador Geotérmico

Los intercambiadores de calor enterrados acoplados a las bombas de calor geotérmicas son circuitos cerrados de agua o agua glicolada, contruidos normalmente con tuberías de polietileno. Las geometrías más comunes son la de intercambiadores verticales (como la de nuestro proyecto) u horizontales conformando uno o varios circuitos en serie o paralelo. Para determinar la transferencia de calor entre la tubería y el terreno pueden usarse métodos de cálculo que asumen ciertas hipótesis simplificadoras como la de considerar a la tubería como una línea infinita a temperatura constante, reduciendo el problema a un caso de conducción de calor unidimensional.

En cuanto al terreno, en primera aproximación se puede considerar un medio isótropo de propiedades constantes e iguales al valor medio a lo largo de toda la longitud de tubería.

Existen en el mercado varios programas comerciales de diseño de intercambiadores de calor enterrados. Nosotros vamos a utilizar el programa Geo Ciatesa que utiliza la metodología de diseño de la Internacional Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA), metodología válida para una primera aproximación al diseño de sistemas geotérmicos.

El método IGSHPA para el diseño de intercambiadores enterrados está basado en la teoría de la fuente de calor en forma de una línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollado por Ingersoll y Plass. Según esta teoría un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial.

Antes de realizar los cálculos debemos saber que tipo de captador instalaremos. El primer paso será elegir entre un intercambiador de circuito abierto o cerrado. Si eligiésemos un intercambiador abierto, deberíamos ser capaces de encontrar un acuífero subterráneo para la utilización del agua. Estos intercambiadores utilizan el agua y luego la reinsertan en el acuífero para su posterior reutilización. Lamentablemente consultando el Sistema de información del Agua Subterranea del IGME (Instituto Geologico y Minero de España), en las proximidades de nuestra vivienda no hay ningún acuífero explotable. Por lo tanto tendremos que decantarnos por un sistema de intercambiadores cerrados, en los que el agua circula por el circuito de manera permanente.

Ahora solo nos quedaría decidir entre los intercambiadores de circuito cerrado horizontales o verticales.

El intercambiador vertical obtiene un rendimiento más alto que el intercambiador horizontal debido a que a partir de unos 20 metros de profundidad la temperatura se mantiene prácticamente constante durante todo el año, alrededor de unos 20°C. La temperatura de la capa más superficial donde se coloca el intercambiador horizontal, sin embargo varía bastante con el clima disminuyendo el rendimiento de la instalación, dado que en invierno se encuentra a una temperatura inferior a los 20°C y en verano a una temperatura algo superior.



La instalación del captador vertical, debido principalmente a las perforaciones que hay que realizar, es generalmente más costosa que la del captador horizontal. Por este motivo, cuando se dispone de la suficiente superficie para instalar un intercambiador horizontal con el que se obtenga un buen rendimiento, siempre se optara por esta opción.

La instalación de captadores verticales se realiza en los casos en los que no se dispone del terreno suficiente o cuando la superficie a climatizar es tan grande que surgirían problemas a la hora de instalar un colector horizontal. Los intercambiadores verticales al tener un tamaño más reducido, son más manejables para potencias mayores, necesitando menos metros de tubería y menos cantidad de agua.

Debido a que nuestro terreno disponible no es lo suficientemente grande para instalar un intercambiador horizontal, nos hemos decidido por instalar uno vertical.

Finalmente, usaremos el software Geo-Ciatesa para dimensionar nuestro intercambiador geotérmico.

#### **4.6.1 Diseño del Intercambiador Vertical**

El diseño de un intercambiador de calor vertical depende, generalmente, de las propiedades térmicas del terreno en el que se ubique. Los factores del terreno con mayor influencia en la longitud del sondeo que ha de alojar las sondas geotérmicas son la conductividad térmica del terreno y la humedad.

Las propiedades térmicas del subsuelo se pueden calcular con un Ensayo de Respuesta Térmica del Terreno, ERT, este ensayo se realiza una vez realizada la perforación del terreno. El ensayo debido a su duración y alto coste, no resulta económico para pequeñas instalaciones como ya hemos comentado con anterioridad.

La norma alemana VDI 4640 Parte 2, establece una diferenciación entre sistemas geotérmicos con intercambiadores de calor verticales para operaciones de calefacción de hasta 30kW de potencia calorífica y otros sistemas más grandes.

Observando la norma VDI 4640 Parte 2 obtenemos los valores de extracción de calor específico para operaciones anuales de calefacción de 1800 y 2400 horas para nuestro terreno.

El terreno que estamos estudiando es un terreno duro, normal y con sedimentos saturados de agua. Para este terreno la extracción de calor para 1800 horas de operación es de 60 W/m y cuando el régimen de operación es de 2400 horas, la extracción de calor es de 50 W/m.

Los valores de extracción de calor definidos por la norma solo pueden utilizarse cuando se dan las siguientes circunstancias:

- Sólo se produce extracción de calor.
- La longitud del intercambiador de calor vertical, individual, debe estar comprendida entre 40 y 100 m (profundidad de sondeo).
- La distancia mínima entre dos sondeos debe ser:



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

- Al menos de 5 m para sondeos de 40 a 50 m de longitud.
- Al menos de 6 m para sondeos de 50 a 100 m de longitud.
- Tubos en forma de doble U con DN 20, 25 ó 32, o tubos coaxiales con un diámetro mínimo de 60 mm.

Para calcular el intercambiador de calor usaremos el programa Geo-Ciatesa pero antes de introducir los datos debemos realizar un sencillo cálculo para tener una idea sobre la profundidad de nuestro sondeo.

El calor que tiene que aportar el terreno viene dado por la siguiente expresión:

$$Q_{\text{Sondeo}} = Q_{\text{Calefacción}} \cdot \frac{\beta_a - 1}{\beta_a}$$

$\beta_a$  es el factor de eficiencia anual o estacional de una bomba de calor eléctrica es la relación entre el calor suministrado anualmente y la cantidad de energía eléctrica consumida.

El factor de eficiencia es diferente del coeficiente de operación COP. El coeficiente de operación de una bomba de calor eléctrica, es la relación momentánea entre la cantidad de calor emitida y la eléctrica consumida, para un determinado punto de trabajo.

Para una bomba de calor geotérmica un valor medio para la eficiencia estacional sería 3.5.

$$Q_{\text{Sondeo}} = 10534,3 \text{ W} \cdot \frac{3,5 - 1}{3,5} = 7524,5 \text{ W}$$

Esta cantidad de energía que tiene que aportar el terreno es la potencia del evaporador de la bomba.

Como hemos considerado el terreno duro, normal, establecemos una 2400 horas/año y tenemos que la extracción de calor específica es de 50 W/m. Por lo tanto podemos decir que la profundidad de sondeo será:

$$L_{\text{Sondeo}} = \frac{7524,5 \text{ W}}{50 \text{ W/m}} = 150,49 \text{ m}$$

A continuación pasaremos a usar el programa Geo-Ciatesa para realizar los cálculos de nuestro intercambiador como hemos comentado con anterioridad.

Este programa ha sido desarrollado por Ciatesa y su colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia.

Geo-Ciatesa incorpora una base de datos de equipos agua-agua, datos climáticos, suelos, datos de tuberías, fluidos, etc, que permite diseñar el intercambiador enterrado que necesitamos.

El programa se estructura en cuatro pantallas de entrada de datos y una de resultados. En la primera pantalla se configura la geometría del intercambiador. En la segunda se



introduce el material de las tuberías. En la tercera se define el perfil de cargas a partir de la localidad, tipo de edificio y cargas máximas de calefacción y refrigeración. En esta pantalla también se elige el tipo de terreno. Finalmente, hay una cuarta pantalla para introducir los accesorios de tuberías con objeto de ofrecer una estimación de la pérdida de carga. En la pantalla de resultados el programa muestra unas tablas para el funcionamiento en refrigeración y calefacción, en las que, en función de la temperatura de salida que se elija, aparecen unos datos relativos a las prestaciones de la bomba de calor como la temperatura de salida, el COP, las potencias frigoríficas, caloríficas y absorbidas, el caudal o la altura manométrica de las bombas necesarias, y otros datos relativos al intercambiador enterrado, la longitud de tubería necesaria, la superficie de terreno empleada y el volumen de movimiento de tierras a realizar.

Con toda esta información, podremos diseñar una instalación que mantenga un adecuado compromiso entre prestaciones, inversión inicial y eficiencia (ahorro energético).

A continuación mostraremos una a una las pantallas del programa con los respectivos datos que introduciremos para el cálculo.

En la primera seleccionamos la configuración que vamos a elegir, tanto horizontal como vertical. En nuestro caso elegiremos una configuración vertical debido a que ocupa menos espacio que la horizontal y es la única solución para nuestra vivienda.

También tendremos que seleccionar el número de bucles, el número de perforaciones y la distancia entre perforaciones (este valor se recomienda que no sea menor a los 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones).

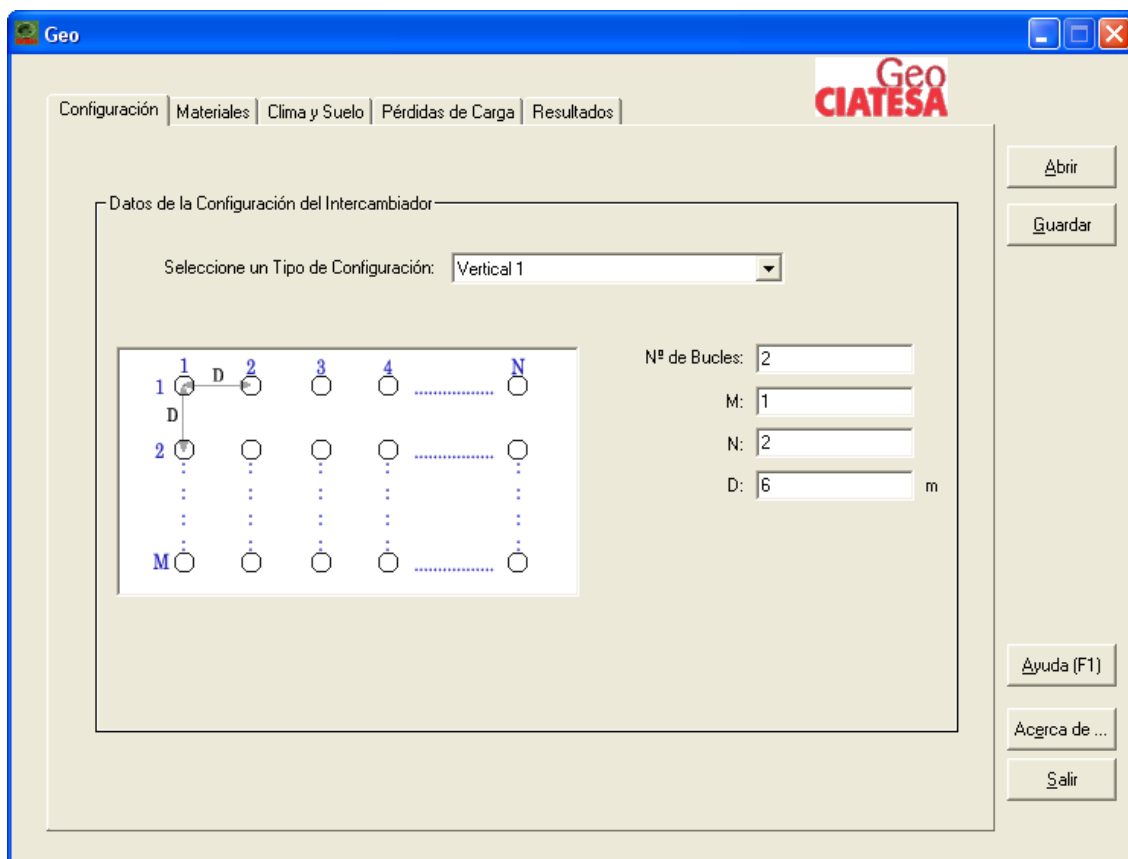


Figura 29. Pestaña de configuración del programa GeoCiatesa.





Los parámetros que aparecen en pantalla son los siguientes:

- M es el número de pozos en dirección Y.
- N es el número de pozos en dirección X.
- D es la distancia entre perforaciones.

El programa mediante los datos que hemos introducido calculará la longitud total del intercambiador. Para obtener la profundidad de cada pozo el programa usa la siguiente fórmula:

$$L_u = \frac{L_{Total}}{2 \cdot N \cdot M}$$

Siendo:

$L_u$ : La profundidad de cada pozo.

N: N° de pozos en la dirección Y.

M: N° de pozos en la dirección X.

En la siguiente pantalla del programa tenemos que introducir los materiales que seleccionaremos para los tubos intercambiador de calor enterrado y también los datos del colector (tubería horizontal que une la bomba de calor con el intercambiador enterrado).

El polietileno (PE) y polibutileno (PB) son los materiales más comunes en los intercambiadores de calor enterrados. Ambos son flexibles a la vez que resistentes y pueden unirse mediante fusión por calor para formar empalmes más fuertes que el tubo mismo.

Además estimaremos la presión a la que se va a trabajar; el programa nos permite seleccionar los diferentes niveles de presión a los que puede trabajar el material seleccionado. Cada presión corresponde a un espesor de tubo diferente.

Después, por último elegiremos el diámetro nominal de la tubería.

En la siguiente tabla aparecen las características del material seleccionado. Hemos elegido polietileno porque es más común que el polibutileno, es más flexible y más barato.



POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE100	6	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,4	0,43
		2 1/2"	63	58,2	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	16	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	25	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	18,0	0,43
		1 1/4"	32	23,2	0,43
		1 1/2"	40	29,0	0,43
		2"	50	36,2	0,43
		2 1/2"	63	45,8	0,43

Tabla 39. Características tubos de polietileno.

La pantalla de datos al final nos quedara de la siguiente manera:

Figura 30. Pestaña de materiales del programa GeoCiatesa.



La tercera pantalla que tendremos que completar trata sobre los datos del tipo de suelo, nos permitirá seleccionar una bomba de calor y nos permitirá elegir el fluido de trabajo.

Lo primero que tenemos que seleccionar es la capital de provincia más cercana a nuestra vivienda, en este proyecto se trata de Madrid, nuestra vivienda está situada en San Sebastián de los reyes.

Lo siguiente a introducir es el tipo de suelo, para ello hemos recurrido a la ayuda proporcionada por la Dirección General de Promoción y Disciplina Ambiental / Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio y el servicio Cartanet, gracias a ellos hemos podido saber que el suelo predominante en San Sebastián de los Reyes es Inceptisol. Este tipo de suelo no aparece en el software así que usaremos el más similar posible. El suelo inceptisol posee las siguientes características:

- Son suelos con características poco definidas.
- No presentan intemperización extrema.
- Suelos de bajas temperaturas, pero de igual manera se desarrollan en climas húmedos (fríos y cálidos).
- Presentan alto contenido de materia orgánica.
- Tienen una baja tasa de descomposición de la materia orgánica debido a las bajas temperaturas. Pero en climas cálidos la tasa de descomposición de materia orgánica es mayor.
- PH ácido.
- Poseen mal drenaje.
- Acumulan arcillas amorfas.

Del tipo de suelo que podemos elegir, el más similar a estas características es el Conglomerado definido en el software Geo Ciatesa como “masa formada por fragmentos redondeados de diversas rocas o sustancias minerales unidos por un cemento”.

A continuación se introduce la máxima carga de calefacción y el tipo de edificio. Se ha de tener en cuenta que GEO no pide las temperaturas a las cuales fueron calculadas esas cargas térmicas, pues asume que esos valores son los correspondientes a la hora del día más caliente para verano (refrigeración) y la hora del día más frío para invierno (calefacción); Geo a partir de las bases de datos climáticos para España, selecciona estas temperaturas como las críticas y las utiliza internamente para sus cálculos. El tipo de edificio se relaciona con el número de horas semanales que requerirá climatización.

Tendremos que introducir el fluido de trabajo que usaremos, en nuestro caso etilenglicol (agua glicolada) y su porcentaje. Al utilizar agua glicolada se puede trabajar con temperaturas de salida del agua de la bomba de bajo cero. Esto reduce considerablemente la longitud del intercambiador pero el rendimiento de la bomba de calor disminuye cuando la temperatura del líquido es más baja. Cuanto más porcentaje de glicol más baja será la temperatura a la que podremos trabajar, como no necesitamos trabajar a temperaturas demasiado extremas usaremos una concentración de glicol baja.

Esta será la pantalla resultante con todos los datos anteriores:



The screenshot shows the 'GeoCIATESA' software window with the 'Clima y Suelo' tab selected. The interface includes a menu bar with 'Configuración', 'Materiales', 'Clima y Suelo', 'Pérdidas de Carga', and 'Resultados'. The main area is divided into several sections:

- Elija capital de provincia más cercana (o más similar):** A dropdown menu showing 'Madrid'.
- Datos del Suelo:**
  - Suelo:** A dropdown menu showing 'Conglomerado'. To its right is a 'Humedad' slider with values 1.35 W/(m·K) and 3.70 W/(m·K) at the ends, and 2.10 MJ/K·m³ at both ends.
  - Suelo definido por el usuario:** A section with input fields for 'Conductividad: 0 W/(m·K)' and 'Cp: 0 MJ/K·m³'.
- Carga Térmica del Edificio:**
  - Tipo de Edificio:** A dropdown menu showing 'Vivienda'.
  - Calefacción:** A section with 'Max. Carga: 10.5433 kW'.
  - Refrigeración:** A section with 'Max. Carga: 0.001 kW'.
- Bomba de Calor:** A dropdown menu showing 'IZE 70'.
- Fluido del Intercambiador:** A dropdown menu showing 'Agua Glicolada'.
- Concentración (<56.00%):** An input field showing '25 %'.

On the right side of the window, there are buttons for 'Abrir', 'Guardar', 'Ayuda (F1)', 'Acerca de ...', and 'Salir'. A 'Sugerir Bomba' button is located below the 'Carga Térmica del Edificio' section.

Figura 31. Pestaña de clima y suelo del programa GeoCiatesa.

Y la ultima pantalla que tendremos que completar trata sobre las pérdidas de carga. En esta ventana se introducen las pérdidas en los accesorios del el colector y las pérdidas en el intercambiador enterrado.

Hay que tener en cuenta el recorrido del colector desde el intercambiador subterráneo hasta la bomba de calor para conocer el número de codos. También es necesario introducir las válvulas que controlan el flujo de agua al comienzo del colector y las T's necesarias para unir el colector con el primer bucle enterrado.



*Figura 32. Pestaña de pérdidas de carga del programa GeoCiatesa.*

Los resultados que nos ofrece el programa para el invierno (calefacción), que son los únicos que interesarán en este proyecto, y los datos para el verano son los siguientes:

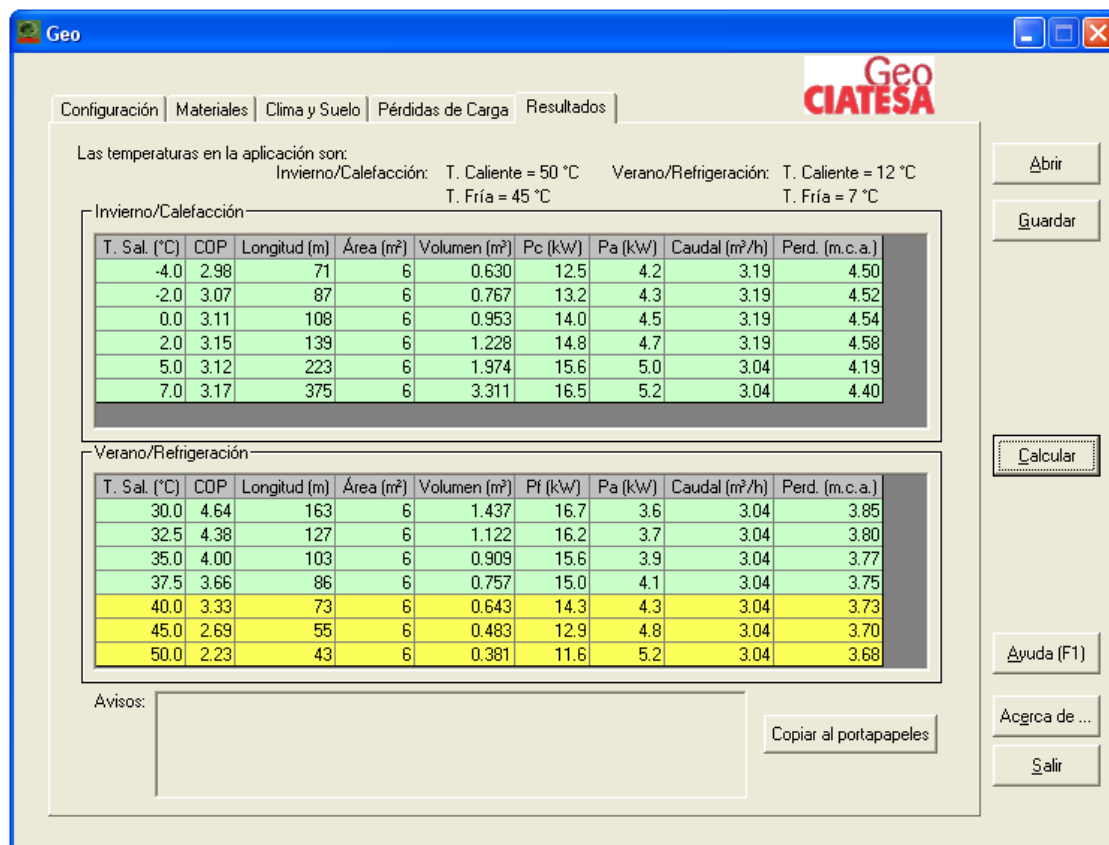


Figura 33. Pestaña de resultados del programa GeoCiatesa.

En la parte superior de la pestaña de Resultados se muestran las temperaturas del agua con las cuales el programa realiza los cálculos para la aplicación (circuito interior).

Para la calefacción la temperatura caliente es de 50°C, esta temperatura se refiere a la temperatura del agua a la salida de la bomba de calor. Y la temperatura fría es de 45°C, esta temperatura se refiere a la temperatura del agua a la entrada de la bomba de calor.

Como se observa el programa proporciona varios datos de salida; unos son simplemente datos que el programa lee de las bases de datos y muestra al usuario para ayudarle en la definición del diseño óptimo, por ejemplo: COP, Pc (potencia calorífica), Pf (potencia frigorífica), Pa (potencia absorbida en la bomba de calor) y caudal nominal.

Los otros valores son calculados como: el área afectada y el volumen excavado (en caso de configuraciones verticales) y la pérdida de carga por fricciones (esta pérdida es la resultante de sumar las pérdidas por longitud y accesorios del intercambiador enterrado, la perdidas por longitud y accesorios en el colector y las perdidas en la bomba de calor).

Pasaremos a explicar cada columna de datos que hemos obtenido de manera independiente:

- Temperatura de salida: Es la temperatura de salida del agua de la bomba de calor al final de la estación de invierno/calefacción.



PFC: Estudio de las aplicaciones de la energía geotérmica en España. Caso práctico para climatización de una vivienda unifamiliar.

- COP: El COP que calcula GEO es el COP mínimo, ya que es calculado en las peores condiciones, cuando por ejemplo en verano, el suelo ya está caliente debido al calor introducido en toda la estación, por lo que el agua de la bomba de calor también estará caliente y por lo consiguiente obtenemos el peor COP. Hay que tener en cuenta que la mayoría del tiempo que funciona el sistema en una estación determinada, éste no trabaja en las peores condiciones, siempre está a una temperatura más baja que la del instante crítico (final del verano) y por consiguiente en COP real es más alto.
- Longitud: Es la longitud total de tubo calculada para unas condiciones específicas de temperatura de salida de agua fría y caliente de la bomba de calor.
- Área: El área afectada en el caso de un intercambiador cerrado es la que está exactamente encima de los tubos.

$$A = D \cdot (M - 1) \cdot D(N - 1)$$

- Volumen: El volumen que calcula GEO es el volumen excavado, se obtiene de multiplicar el área del pozo ( $\pi \cdot (0.075)^2$  m<sup>2</sup>) por la longitud calculada dividido en 2 (1 tubo de bajada + 1 tubo de subida). Para ello se toma un diámetro del pozo estándar de 150 mm.

La formula quedaría expresada de la siguiente manera:

$$V = \pi \cdot 0,075 \cdot \frac{L}{2}$$

- Pc (kW): Es la potencia calorífica ó capacidad de la bomba en calefacción para unas condiciones específicas de temperatura de salida de agua fría y caliente de la bomba de calor.
- Pa (kW): Es la potencia absorbida ó potencia eléctrica consumida por el compresor para unas condiciones específicas de temperatura de salida de agua fría y caliente de la bomba de calor.
- Caudal: Es el caudal nominal con el que se garantizan las prestaciones de la bomba de calor.
- Perdidas: Es la pérdida de carga por fricciones (ésta es la resultante de sumar las pérdidas por longitud y accesorios del intercambiador enterrado, la perdidas por longitud y accesorios en el colector y las perdidas en la bomba de calor).

Una vez explicada cada columna observamos que la longitud total obtenida con el programa es de 108 metros, por lo tanto ya podemos calcular la longitud de los dos pozos con la formula que indicamos al principio:

$$L_u = \frac{L_{Total}}{2 \cdot N \cdot M} = \frac{108 \text{ m}}{2 \cdot 2 \cdot 1} = 27 \text{ m}$$





Hay que tener en cuenta que los parámetros de cálculo de Geo Ciatesa son los más desfavorables; se dan las potencias y rendimientos que se obtendrían con las peores condiciones. Por ello tanto las potencias como los rendimientos pueden ser algo mayores cuando las condiciones no sean tan adversas, que es la mayor parte del tiempo de servicio del sistema.

#### 4.6.2 EQUIPOS NECESARIOS PARA EL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO

Una vez que hemos seleccionado nuestro intercambiador tendremos que seleccionar una bomba de circulación para que lleve el agua hasta la bomba de calor, elegiremos los tubos necesarios para la instalación y elegiremos un vaso de expansión.

La marca Sedical tiene un amplio catalogo del que podemos seleccionar nuestra bomba:

		SP 25/4-B ÷ SP 30/8-B SP(D) 30/7T-B ÷ 8T-B(*)	SM(D) / SP(D) 32 ÷ 100/12-B	A 25/4-B ÷ A(D) 65/12-B	SE(D) 40/8-B ÷ SE(D) 80/12	SA 20/2-B ÷ SA 40/8-B	SAM y SA(D)P
Aplicaciones		Calefacción / climatización	Calefacción / climatización	Calefacción / climatización	Calefacción / climatización	ACS	Calefacción / ACS / climatización
Presión de trabajo		10 bar	10 bar	R" (10 bar) DN (16 bar)	10 bar	10 bar	10 bar
Temp. trabajo	sin aislam.	-20 a +110°C	-20 a +140°C	+15 a +95°C	-10 a +110°C	65°C	-15 a +120°C
	con aislam.	-20 a +55°C	-20 a +100°C	+15 a +95°C	-10 a +110°C	65°C	-15 a +120°C
Temp. max. ambiente		40°C	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C
Nivel sonoro		<40 dB(A)	<40 dB(A)	<55 dB(A)	<55 dB(A)	<40 dB(A)	<65 dB(A)
Glicol max.		50%	50%	50%	30%	- - -	45%
MATERIALES							
Cuerpo bomba		GG20	GG20	GG20	GG20	Bronce o GG20	Bronce o GG20
Rodete		Polisulfon	Polisulfon	Polisulfon	Tecnopolímero	Polisulfon	Termopolímero
Eje		Cerámica	Inox. 14305	Cerámica-Inox. 14201	Acero inoxidable templado	Cerámica-Inox. 14401	Acero Inox.
Cojinetes		Cerámica	Cerámica	Grafito	Grafito	Cerámica	Rodamientos
Juntas		EPDM	EPDM	EPDM	EPDM	EPDM	EPDM
Caja de conexiones		Material sintético con junta de goma	Material sintético con junta de goma	Material sintético con junta de goma	Material sintético con junta de goma	Material sintético con junta de goma	Norma I EC con junta de goma
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS							
Alimentación		1x230V, 50 Hz (*) 3x400V, 50 Hz	Motor Polycom Enchufable A = 3x400V-50Hz Enchufable B = 3x230V-50Hz Enchufable B = 1x230V-50Hz	1x230V, 50 Hz	1x230V, 50Hz	R" = 1x230V-50Hz DN = Motor Polycom Enchufable A = 3x400V-50Hz Enchufable B = 3x230V-50Hz Enchufable B = 1x230V-50Hz	3x230V, 50 Hz 3x400V, 50 Hz
Regulación velocidad		Electrica	Electrica	Electrónica	Electrónica	No tiene	No tiene
Grado de protección		IP 42	IP 44	IP 42	IP 44	IP 42 / IP 44	IP 44 / IP 55
Aislamiento (clase)		F / H	H	H	F	H	F
Protección sobrecargas		Incorporada	Clixón	Incorporada	Incorporada	R" = Incorporada DN = Clixón	- - -
Protección térmica motor		No precisa	Precisa	No precisa	No precisa	R" = No precisa DN = Precisa	Precisa
Pasacables		PG 11	PG 16	PG 11 / PG 16	PG 16	PG 11 : PG 16	PG 11
Construcción		Rotor húmedo	Rotor húmedo	Rotor húmedo con variador de frecuencia	Rotor húmedo con variador de frecuencia	Rotor húmedo	Rotor seco

Tabla 40. Gama de bombas Sedical.

Las bombas SAM y SA(D)P permiten nuestro porcentaje de glicol perfectamente asique comprobaremos en las siguientes tablas si también soportan nuestro caudal y seleccionaremos una.

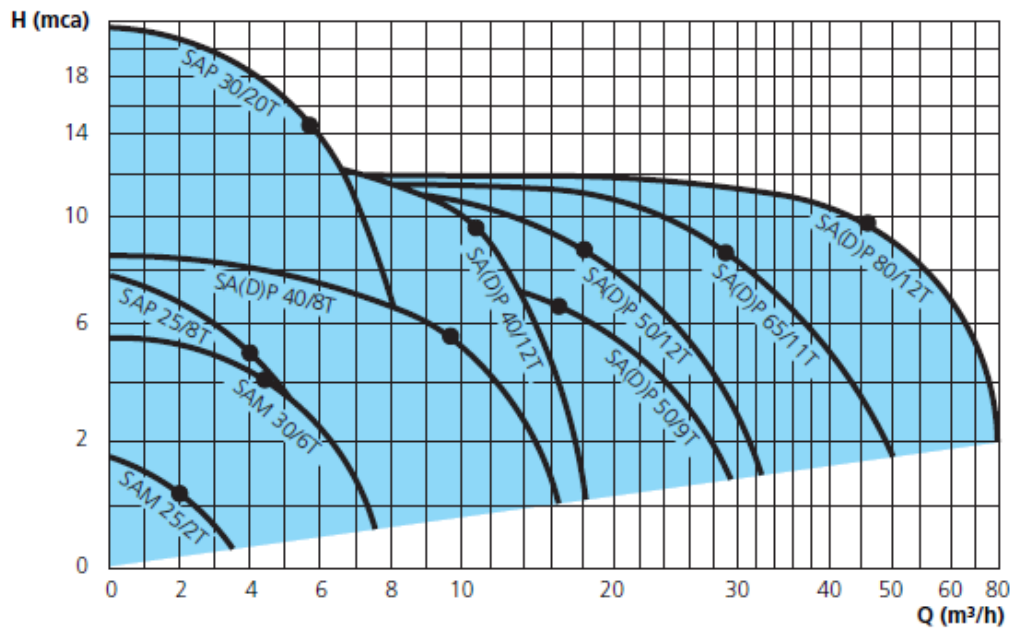


Figura 34. Curvas de funcionamiento de las bombas sedical.

Nuestro caudal es de 3,19 y elegimos la bomba SA(D)P 40/8T ya que cumple nuestros requisitos y además es una bomba dobles. Es decir, es un equipo que consta de dos bombas con un funcionamiento alternativo que nos garantizan un funcionamiento constante.

Para elegir los tubos que usaremos hemos usado los catálogos de Adequa, estos tubos ya los seleccionamos con el programa Geo-Ciasesa y deben ser de Polietileno-100 y deben soportar presiones de 10 atmosferas. A continuación se detallan las tablas que nos proporcionan el fabricante con los distintos tubos de este tipo:



## Productos Certificados por AENOR

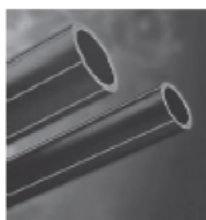


### 1. Tuberías de PEAD para Abastecimiento y Distribución

*Tubagens de PEAD para Abastecimento e Distribuição*

#### Tubos Polietileno Alta Densidad Banda Azul PE 100

*Tubos Polietileno alta densidade banda azul PE 100*



Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN 12201  
Posee la marca de calidad AENOR

10 ATMÓSFERAS (1 MPa)				
Ø Ext mm	m/rollo	Esp mm	CÓDIGO	€/m
32	100	2,0	1002055	1,19
40	100	2,4	1002058	1,56
50	100	3,0	1002061	2,44
63	100	3,8	1002040	3,84
75	50	4,5	1126638	5,41
90	50	5,4	1002045	7,79
* 110	barra 6 m	6,6	1002087	11,59

16 ATMÓSFERAS (1,6 MPa)				
Ø Ext mm	m/rollo	Esp mm	CÓDIGO	€/m
20	100	2,0	1002050	0,70
25	100	2,3	1002053	0,90
32	100	3,0	1002056	1,44
40	100	3,7	1002059	2,29
50	100	4,6	1002039	3,55
63	100	5,8	1002041	5,62
75	50	6,6	7038989	7,84
90	50	8,2	1002048	11,37
* 110	barra 6 m	10,0	1002089	16,94

- Para otros diámetros y presiones, consultar.
- Los códigos corresponden al m.l. de tubería.
- Para presentaciones en barras de 6 y 12 m, consultar.

Figura 35. Datos de las tuberías de polietileno.

Nuestro diámetro nominal era de 2 pulgadas y media que convertidas a centímetros nos quedan 6,3. Así que ya sabemos exactamente qué tipo de tubos usaremos para nuestra instalación.

También tendremos que usar T's, enlaces rectos y válvulas con el mismo diámetro que hemos seleccionado anteriormente. Las características de estos elementos se muestran a continuación:



### Té Bocas Iguales / Té 90°



Fabricados conforme a la Norma UNE EN 12201  
• Presión máxima de servicio PN=10 Atm.

DN mm		Referencia	ud / caja	CÓDIGO	€/ud
20	SI	TEP-20	D-50	1000330	1,89
25	SI	TEP-25	C-50	1000331	2,78
32	SI	TEP-32	C-25	1000332	3,40
40	SI	TEP-40	C-20	1000333	5,15
50	SI	TEP-50	C-10	1000334	8,10
63	SI	TEP-63	C-5	1000335	13,62
75	-	TEP-75	B-5	1000336	31,18
90	-	TEP-90	A-5	1000337	42,26
110	-	TEP-110	A-4	7000145	76,79

### Enlace Recto / União simples



Fabricados conforme a la Norma UNE EN 12201  
• Presión máxima de servicio PN=10 Atm.

DN-dn mm		Referencia	ud / caja	CÓDIGO	€/ud
20-20	SI	MEP-20	D-50	1000291	1,26
25-25	SI	MEP-25	D-50	1000292	1,55
32-32	SI	MEP-32	D-25	1000293	2,19
40-40	SI	MEP-40	C-25	1000294	3,42
50-50	SI	MEP-50	C-15	1000295	4,80
63-63	SI	MEP-63	C-10	1000296	7,65
75-75	-	MEP-75	C-5	1000297	15,51
90-90	-	MEP-90	B-5	1000298	23,26
110-110	-	MEP-110	B-6	7000950	49,97

### Válvula PVC de Riego / Válvula PVC de rega



DN mm	Referencia	ud/caja	CÓDIGO	€/ud
20	VR-20	E-14	7000065	14,47
25	VR-25	D-10	7000077	16,96
32	VR-32	D-5	7000093	21,73
40	VR-40	C-7	7000107	26,47
50	VR-50	D-5	7000125	32,66
63	VR-63	C-6	7000141	45,51
75	VR-75	B-3	7000160	113,29
90	VR-90	B-3	7021165	165,94

Figura 36. Datos de las T's, los enlaces rectos y válvulas de pvc.

Para proteger la bomba de calor colocaremos un filtro antes de la entrada de la bomba desde el intercambiador geotérmico. Para que no se dañen los intercambiadores de placas de la bomba de calor será un filtro en Y. Nuestro filtro será de 2 pulgadas.



Los datos técnicos del filtro son los siguientes:

### Filtro Colador Y Bronce



Filtro colador en Y con cuerpo en bronce.

Adaptado para instalaciones de calefacción, sanitario y neumáticas.

Empleo: agua, vapor, aire, gas y aceite.

Filtro en acero inoxidable AISI 304.

**Disponibles en 2", 3" y 4"**

-Presión máxima 16 bar

-Temperatura de trabajo 0°C a 100°C

-Malla Ø 0,9mm

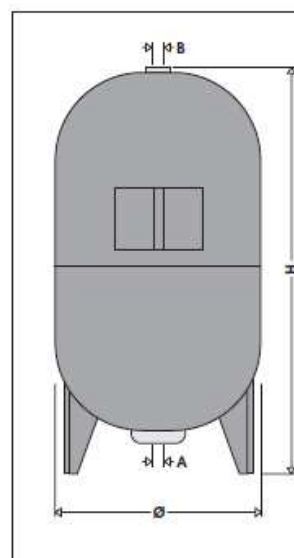
Figura 37. Datos técnicos del filtro.

Solo nos faltara elegir el vaso de expansión que se encarga de absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de la temperatura del fluido que circula por el intercambiador geotérmico. En nuestro caso agua con un 25% de etilenglicol.

Hemos seleccionado el siguiente vaso de expansión del catalogo de Caleffi:

#### Technical specification

Serie ↗	568
<b>Materials:</b> - Body: - Membrane:	Steel Non-toxic butyl
<b>Performance:</b> - Max working pressure:	10 bar
- Pre-charge pressure:	1,5 bar
- Max working temperature:	99°C
<b>Connection to pipework:</b>	60÷100 l; 1" M 200÷500 l; 1 1/2" M



Code	Litres	A	B	Ø	H
568060	60	1"	1/2"	380	860
568080	80	1"	1/2"	450	830
568100	100	1"	1/2"	450	910
568200	200	1 1/2"	1/2"	550	1235
568300	300	1 1/2"	1/2"	630	1365
568500	500	1 1/2"	1/2"	750	1560

Figura 38. Características del vaso de expansión.

El modelo 568060 con una capacidad de 60 litros y una presión máxima de trabajo de 10 bares.

## 4.7 Elección de la Bomba de Calor

A la hora de elegir nuestra bomba de calor tenemos que observar los diferentes tipos de bombas que existen en el mercado para el aprovechamiento doméstico de la energía geotérmica de baja temperatura.

Hay cuatro tipos que pasaremos a describir a continuación, la diferencia principal entre ellos es el fluido caloportador:

- **Bombas tierra-agua:** Es un sistema en el que se toma al suelo como fuente fría en base a que su temperatura es muy constante y uniforme como consecuencia de poseer una inercia térmica prácticamente infinita. Es necesaria una gran cantidad de terreno para enterrar el serpentín que se encuentra recorrido por un caudal de agua o de agua glicolada para evitar la congelación y que realiza la función de captador térmico. Es por ello que su utilización se encuentra limitada a la climatización de viviendas unifamiliares aisladas.

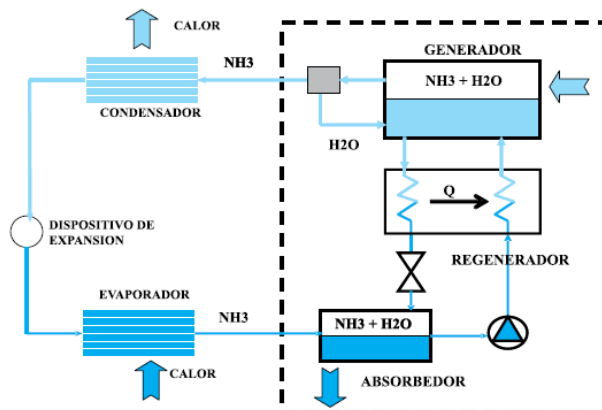


Figura 39. Esquema de bombas de tierra-agua.

En este caso el suelo actúa como un fluido térmico en un intercambiador enterrado que suele estar constituido por una serie de tubos de propileno enterrados a 1,5 metros de profundidad. Las necesidades de espacio suelen ser importantes, generalmente de 3 a 4 veces la superficie total construida del edificio. La bomba de calor que emplea en el evaporador el agua procedente de la instalación enterrada se encuentra en el interior del edificio, donde se produce agua caliente que posteriormente será empleada por el circuito de calefacción clásico o por el suelo radiante.

- **Bombas tierra-aire:** Este tipo de bombas intercambia calor directamente con la tierra en el exterior y dentro directamente con aire, sin utilizar agua como fluido intermedio. Es decir una máquina de expansión directa tanto fuera como dentro. Son instalaciones poco habituales, debido a su coste y a la necesidad de disponer de grandes superficies de terreno.
- **Bombas tierra-tierra:** En los sistemas con bomba de climatización tierra-tierra solo encontramos dos intercambiadores de calor, cuya función es la de evaporador y condensador de la bomba. El captador exterior actúa como evaporador o condensador, dependiendo de la época del año y por tanto por su





interior circula necesariamente el refrigerante que utiliza la bomba de climatización. En el interior ya sea el suelo radiante u otro sistema, actuara también como evaporador o condensador del refrigerante de la bomba. Por tanto el refrigerante tras pasar por el compresor o tras pasar por la válvula de expansión, irá directamente al colector geotérmico o al sistema de climatización del interior de la vivienda, ya sea suelo radiante, fancoils, techo radiante, etc.

- **Bombas agua-agua:** En este tipo de sistemas tanto el fluido portador de calor que circula por el intercambiador geotérmico, como el que circula por el circuito cerrado de climatización interior será agua.

En el caso de los sistemas con intercambiador geotérmico de circuito cerrado lo que circula por el intercambiador geotérmico será generalmente agua glicolada debido a que en ocasiones su temperatura puede bajar por debajo del punto de congelación del agua.

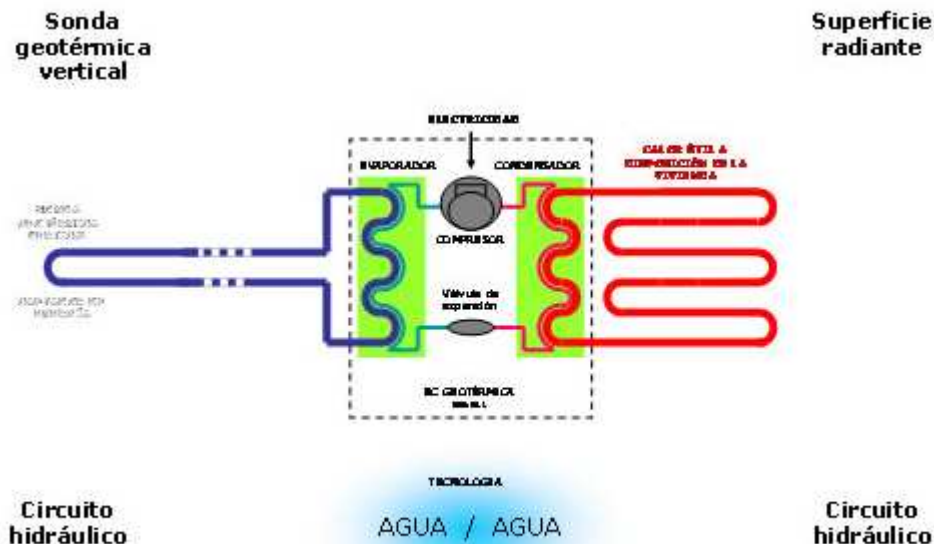


Figura 40. Esquema de bombas de calor agua-agua.

Para este sistema se necesitaran cuatro intercambiadores de calor, el exterior geotérmico, el circuito interno de climatización (suelo radiante, fan-coils, radiadores, etc.) y además el condensador y el evaporador donde el refrigerante que circula por la bomba intercambiara su calor con el agua de los otros dos circuitos cerrados.

Las bombas agua-agua son las únicas que pueden aprovechar las aguas subterráneas o superficiales como foco calorífico, para cuyo aprovechamiento es necesaria la utilización de un intercambiador abierto, es decir, que haga circular por la bomba agua proveniente de la naturaleza y la devuelva a ella.

La desventaja que ofrece este tipo de bomba frente a las anteriores, no es otra que la disminución de rendimiento que sufre el sistema debido a los



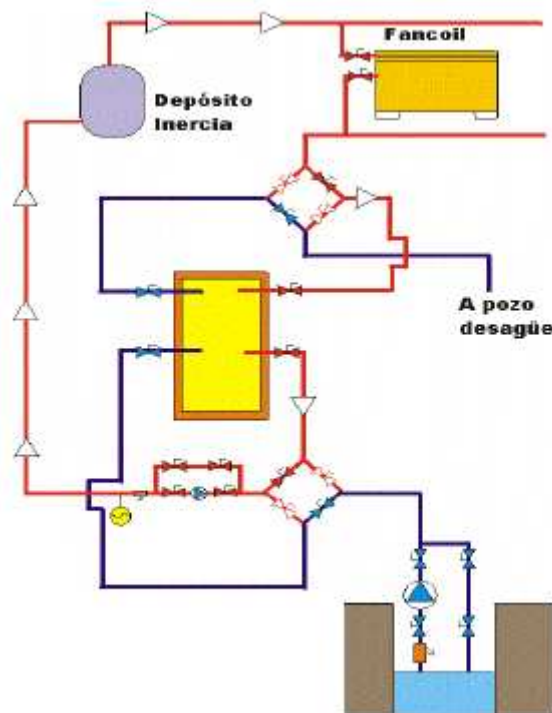


intercambios intermedios de calor entre el agua que circula por el intercambiador exterior y el refrigerante y posteriormente entre este refrigerante y el agua que circula por el circuito cerrado de climatización interior. Sin embargo esta configuración tiene una ventaja bastante buena respecto al resto y es que contiene una cantidad muy inferior de refrigerante a las otras bombas, por lo tanto las pérdidas son mucho menores y no hay fugas de refrigerante en el intercambiador. Esto nos indica que es la configuración más ecológica de todas las bombas.

Observando las distintas opciones de bombas que tenemos nos decantamos por elegir una bomba de calor agua-agua debido a que son las más extendidas para el uso de la geotermia, porque contaminan menos y tienen un buen rendimiento. Además elegimos una bomba de la marca CIATESA ya que es una empresa española que fabrica este tipo de bombas y han tenido la amabilidad de proporcionarnos su propio software y catálogos.

Existen dos tipologías de tecnología para las bombas de calor agua-agua que se utilizan para la geotermia, los equipos no reversibles y los reversibles, siendo ésta última la tecnología mayoritaria del mercado.

En los equipos no reversibles no se produce la inversión del ciclo frigorífico de tal manera que el refrigerante discurre siempre en el mismo sentido y los intercambiadores actúan como condensador y evaporador respectivamente en toda circunstancia. En ellos, el cambio de funcionamiento se realiza en el lado del agua. Para ello existe un circuito hidráulico por el que, dependiendo si las necesidades son de calefacción o refrigeración, el conjunto de las válvulas hace que el agua fría y caliente transite por una u otra dirección.



*Figura 41. Esquema de bomba de calor agua-agua no reversible.*

En los equipos reversibles la inversión se produce en el ciclo frigorífico mediante una válvula de cuatro vías que direcciona el flujo de refrigerante hacia el intercambiador

del agua enviada al exterior o al interior en función de que las necesidades sean de calefacción o refrigeración. De esta forma, en calefacción, el intercambiador interior actúa como condensador y calienta el agua que circula a la instalación, en el caso contrario, actuará como evaporador y el agua será enfriada. En el caso de calefacción, el intercambiador exterior actúa como evaporador y el agua que sale de él se manda al terreno para que, tras el intercambio, aumente su temperatura y de nuevo retorne al evaporador. En caso de refrigeración el modo de operación será el contrario. En la siguiente figura se muestra un esquema de principio de una bomba de calor geotérmica, con sus distintas unidades terminales posibles (fancoil, suelo radiante...); y con las dos tipologías de intercambio con el terreno más comunes, como son el intercambio vertical y el horizontal.

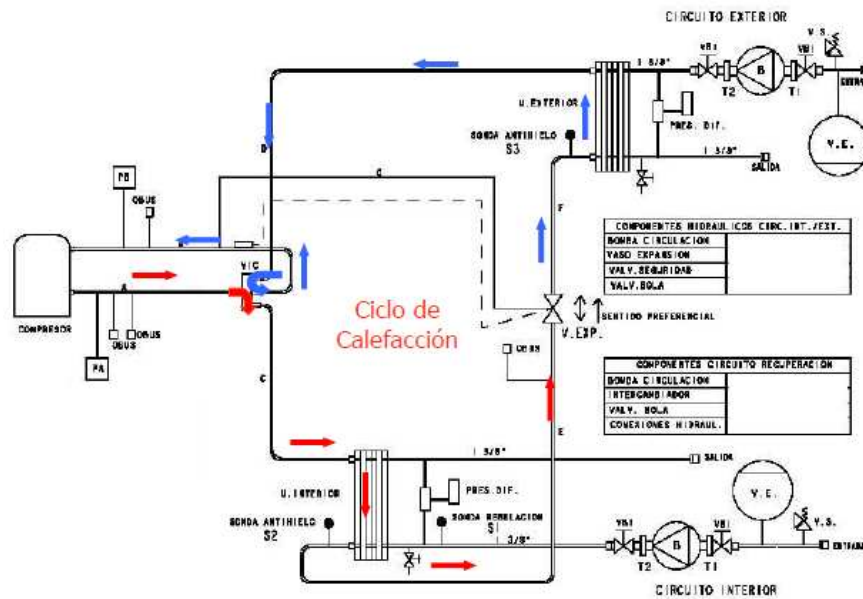


Figura 42. Esquema de bomba de calor agua-agua reversible en ciclo de calefacción.

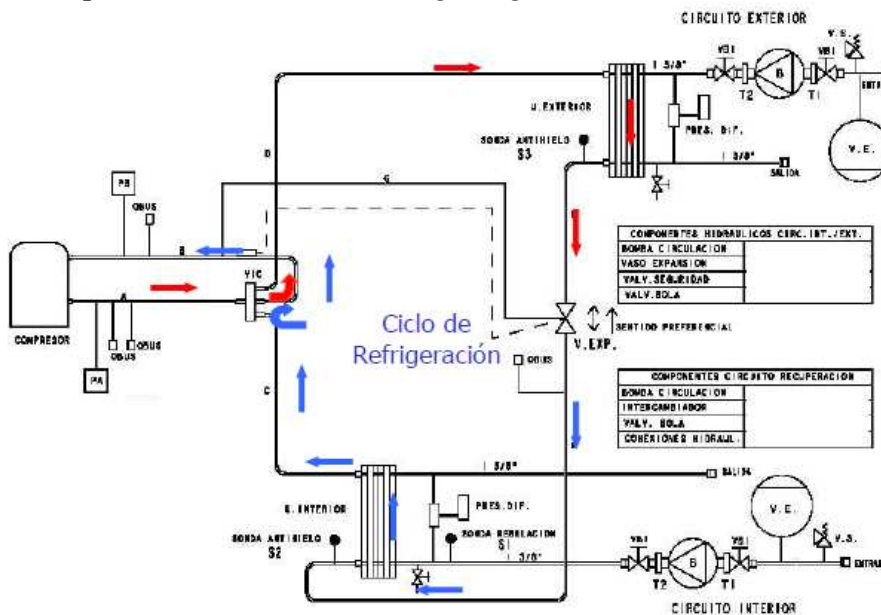


Figura 43. Esquema de bomba de calor agua-agua reversible en ciclo de refrigeración.



Después de explicar los dos tipos de bombas agua-agua nos decantamos por una del tipo reversible. En concreto por la bomba **Aurea Modulo 70Z** que cubre nuestras características perfectamente. Ya que nuestra demanda de energía sumando la climatización y el consumo de A.C.S es de  $10,5343+0,922= 11,4563$  kW y la bomba de calor es capaz de cubrir una demanda de 13,8 kW.

A continuación podemos ver sus características:

		Potencia frigorífica (1)	Potencia consumida (1)	Potencia calorífica (2)	Potencia consumida (2)	C.O.P.	Potencia de recuperación (3)	Velocidad expansión	Circulador Nº de velocidad Presión disponible	Nivel sonoro (4)	Refrigerante	Tensión
		kW	kW	kW	kW		kW	l/s	l/s	dB(A)		
AUREA												
20Z		4,9	1,4	5,2	1,5	3,3	-	-	-	38	R407C	230 V 1ph 50Hz
30Z		6,7	1,7	7,0	2,0	3,5	-	-	-	40	R407C	
40Z		9,1	2,4	9,8	2,8	3,5	-	-	-	42	R407C	
		9,1	2,4	9,8	2,8	3,5	-	-	-	42	R407C	
50Z		10,9	3,1	12,3	3,4	3,6	-	-	-	42	R407C	400 V 3ph 50Hz + tierra
60Z		13,7	3,5	14,5	4,0	3,6	-	-	-	43	R407C	
70Z		16,3	4,3	17,5	5,0	3,5	-	-	-	44	R407C	
80Z		18,3	4,7	19,6	5,5	3,6	-	-	-	44	R407C	
90Z		18,7	5,9	22,5	7,0	3,2	-	-	-	48	R407C	
120Z		26,2	8,2	32,3	10,2	3,2	-	-	-	50	R407C	
160Z		36,0	9,0	47,5	12,2	3,9	-	-	-	54	R407C	
185Z		43,9	10,3	56,5	14,4	3,9	-	-	-	55	R407C	
AUREA MODULO												
40Z		7,5	2,4	8,2	2,8	2,9	1,4	6	3/85	41	R407C	230 V 1ph-50Hz
		7,5	2,4	8,2	2,8	2,9	1,4			41	R407C	
50Z		9,3	3,0	10,2	3,5	2,9	1,6	12	3/84	41	R407C	400 V 3ph 50Hz + tierra
60Z		11,0	3,7	12,0	4,3	2,8	2,0		3/45	42	R407C	
70Z		13,4	4,3	13,8	5,1	2,7	2,2		3/77	42	R407C	
80Z		15,9	5,0	15,4	5,7	2,7	2,8		3/69	42	R407C	
90Z		16,6	5,5	17,9	6,3	2,8	3,1		3/134	46	R407C	
120Z		22,8	7,4	24,6	8,7	2,8	4,0	15	3/125	49	R407C	



Modelos	Altura	Largo	Ancho
20 a 30	1050	400	428
40 a 80	1290	500	528
90 a 120	1518	620	648



Modelos	Altura	Largo	Ancho
40 a 80	1377	534,2	550
90 a 120	1598	535	1170



Modelos	Altura	Largo	Ancho
20 a 30	1050	400	428
40 a 80	1290	500	528
90 a 120	1518	620	648



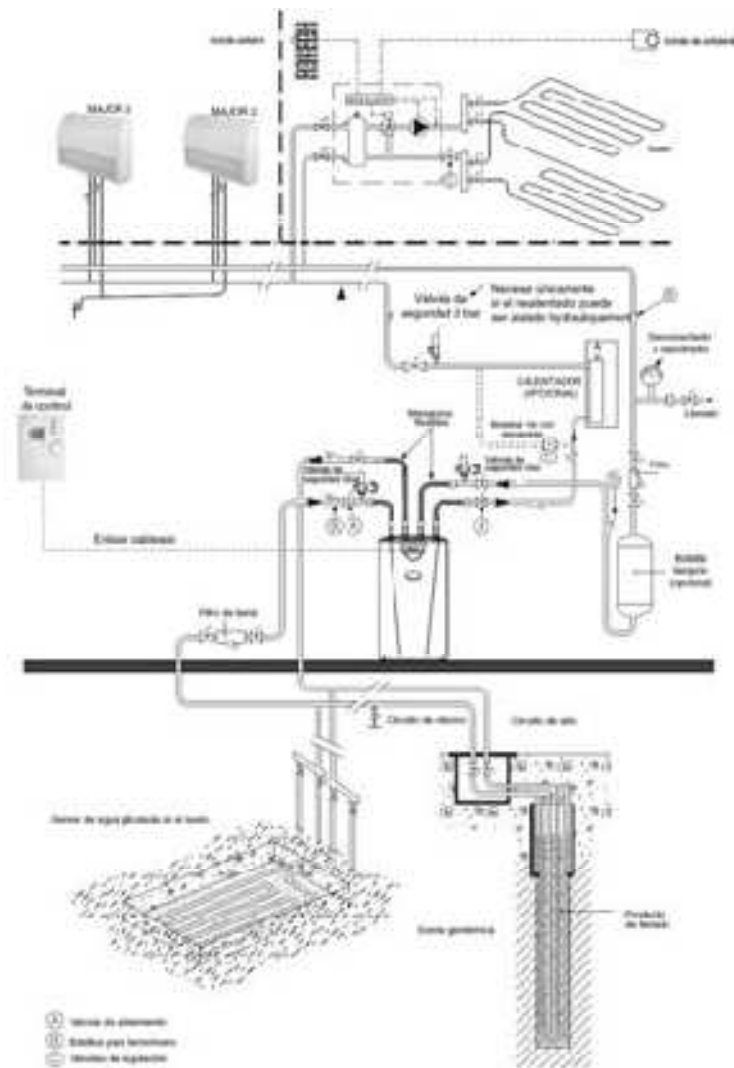
Modelos	Altura	Largo	Ancho
40 a 80	1377	534,2	650
90 a 120	1598	635	770

- (1) Potencia frigorífica para agua fría T1/12°C y temperatura de condensación 35/30°C  
 (2) Potencia calorífica para agua caliente 43/40°C y temperatura de evaporación 5/10°C  
 (3) Potencia de recuperación (Agua caliente sanitaria) para agua a 55/45°C  
 (4) directividad 2, 5 m del equipo, 1,5 m del suelo, campo libre

Figura 44. Gama Ciatesa de bombas de calor.



El esquema de nuestra instalación sería similar al mostrado en la imagen siguiente:



*Figura 45. Esquema de una instalación geotérmica en una vivienda.*

En la figura que se muestra a continuación se puede observar el aspecto de una máquina de este tipo.



*Figura 46. Bomba de calor agua-agua de la marca Ciat.*





## 4.8 Configuración de la instalación interior

El suelo radiante está muy de actualidad y muchos fabricantes e instaladores combinan las bombas geotérmicas con este sistema de climatización interior. Esto se debe a que la bomba de calor produce agua para la calefacción a baja temperatura, alrededor de 55°C, temperatura perfecta para el suelo radiante.



*Figura 47. Esquema de ejemplo de climatización en una vivienda con geotermia.*

El suelo radiante sin embargo fue descartado debido a los problemas que nos encontrábamos, nos supondría una obra muy cara y de gran envergadura, en caso de fallo deberíamos levantar todo el suelo de nuevo para arreglarlo y genera un gran desgaste en los muebles debido al calor que emana del suelo.

Por ello nos decantamos por el uso de fancoils ya que sería un sistema mucho más barato y con un mantenimiento menos costoso. Además la vivienda contaba con un sistema de calefacción por radiadores y por supuesto con todas sus canalizaciones de manera que nos sirve la instalación actual para nuestro nuevo sistema ya que el circuito hidráulico es de dos tubos (uno de impulsión y otro de retorno). En los baños se instalaran toalleros en vez de fancoils.

La única variación será el retiro de los radiadores para sustituirlos por los fancoils. Los radiadores ofrecen un rendimiento en invierno menor que los fancoils en torno a un 80%, debido a que la temperatura de uso de los radiadores es superior que la que se da con los fancoils. Además los radiadores no son adecuados para el verano porque no pueden proporcionar frío con lo cual deberíamos instalar fancoils para tal función en el caso de querer climatización en la vivienda para el verano. Por ello tenemos una ventaja extra para la instalación de fancoils.

Solo es posible tener una instalación con mejor rendimiento que los fancoils, instalando un sistema de expansión directa, lo cual puede hacerse con otro tipo de intercambiadores. El problema de la expansión directa aparece al tener un circuito interno tan grande, dado que se necesita demasiado refrigerante, existen problemas para transportarlo conservando sus propiedades térmicas y existe un gran riesgo de fuga hacia el interior de la vivienda, el refrigerante es toxico.



La expansión directa solo se utiliza para sistemas con un tramo corto de tubería de refrigerante.

A continuación se especifica la localización de cada uno de los fancoils que instalaremos en la vivienda:

- En el pasillo de la planta baja se colocara un fancoil.
- En el despacho se colocara una unidad.
- En la cocina de la vivienda se colocara una unidad.
- En el salón-comedor se colocaran dos unidades para poder climatizar toda la estancia de manera correcta.
- En cada dormitorio se instalara una unidad. Siendo un total de cuatro fancoils.
- En el pasillo de la planta superior también se instalara una unidad.

En total tendremos que instalar 11 fancoils.

Para la dimensionalización de los fancoils se calcula la carga térmica que debe soportar cada uno de los fancoils en función de su localización en la casa. Para ello debemos calcular la carga térmica máxima que soporta cada una de las localizaciones de fancoils. Como ya se sabe que la carga térmica máxima es mucho mayor en invierno que en verano, solo contamos con la carga térmica máxima de invierno para dimensionar los fancoils.

#### 4.8.1 Fan-coils

Los fancoils que se van a instalar en la vivienda son de la marca Ciatesa, la misma empresa que nos proporciona la bomba de calor.

Dentro de la gama de fancoils que disponemos de la marca Ciatesa (Alto, Major Line y Major 2) elegiremos la gama Major 2 ya que es la más económica y adecuada para las viviendas. Las unidades que elegimos son de carrozado vertical.



*Figura 42. Fancoil Major 2 de la marca Ciatesa.*

Se trata de una unidad de acondicionamiento de aire no autónoma, alimentada de agua frío y/o de agua caliente, destinada a la calefacción y a la refrigeración de locales terciarios y de hostelería.



La serie Major 2 asegura el confort térmico gracias a una batería compacta de alto rendimiento y garantiza un bajo nivel acústico, además cuenta con purgadores de aire y de vaciado incorporados a las tuberías.

Cuentan con una serie de controles de seguridad como un limitador de temperatura, de rearme manual en bloque de aluminio o una protección térmica automática con una abertura en serie sobre el bobinado.

Para regular el fancoil individualmente esta gama cuenta con un cuadro concebido para integrar las regulaciones CIAT: V20/A, V20/B, V20/C, V200 y V2000. La regulación del sistema se verá más adelante.

A continuación se muestra las especificaciones técnicas de las unidades Major 2:

modelo		caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)	presión estática disponible (mm.c.a.)	potencia frigorífica		potencia calorífica		potencia consumida (W)	dimensiones				peso (kg)
				total (kW)	sensible (kW)	2 tubos (kW)	4 tubos (kW)		largo NCH I (mm)	largo NCH Y (mm)	ancho (mm)	alto (mm)	
MAJOR 426	v1	225	2,8	1,3	1,1	1,6	1,9	63	789	818	765	270	26
	v2	300	5,0	1,7	1,4	2,0	2,3						
	v3	355	7,0	2,0	1,6	2,3	2,5						
MAJOR 428	v1	340	2,9	1,8	1,5	2,2	2,6	101	789	818	965	270	30
	v2	450	5,0	2,2	1,9	2,9	3,1						
	v3	535	7,1	2,5	2,2	3,3	3,5						
MAJOR 430	v1	325	2,6	2,1	1,6	2,5	3,0	116	789	818	1.165	270	40
	v2	450	5,0	2,7	2,2	3,4	3,7						
	v3	555	7,6	3,2	2,7	4,0	4,3						
MAJOR 432	v1	435	2,6	2,3	1,9	3,2	2,6	115	789	818	1.365	270	46
	v2	600	5,0	3,3	2,8	4,3	3,3						
	v3	670	6,2	3,7	3,1	4,8	3,5						
MAJOR 434	v1	670	3,0	3,3	2,9	4,6	3,7	149	789	818	1.565	270	54
	v2	865	5,0	4,2	3,7	5,8	4,4						
	v3	995	6,6	4,9	4,2	6,6	4,8						
MAJOR 435	v1	765	3,3	3,7	3,3	5,2	4,0	163	789	818	1.565	270	54
	v2	940	5,0	4,6	4,0	6,3	4,6						
	v3	1.050	6,2	5,1	4,5	6,9	4,9						

Tabla 41. Especificaciones técnicas de las unidades Major 2.

Ahora elegiremos las unidades Major 2 que se montaran en cada una de las localizaciones:

Tabla de fancoils		
Sala	Carga Térmica Máxima (W)	Unidad Climatizadora
Vestíbulo	1297,4	Major 426 v1
Despacho	1068,8	Major 426 v1
Cocina	638	Major 426 v1
Salón-Comedor	2541,8	Major 428 v1 (x2)
Dormitorio Principal	1162	Major 426 v1
Dormitorio 2	932,1	Major 426 v1
Dormitorio 3	929,1	Major 426 v1
Dormitorio 4	907,1	Major 426 v1
Pasillo planta superior	390,5	Major 426 v1

Tabla 42. Elección de fancoils instalados en cada habitación.





## 4.8.2 Toalleros

Para el aseo y los baños como ya comentamos con anterioridad no instalaremos fancoils. Instalaremos toalleros. Hemos optado por seleccionar toalleros de la marca BaxiRoca. Estos radiadores específicos para cuartos de baño están fabricados con acero tubular.



Figura 43. Toallero BaxiRoca.

Su reducido espesor, perfecto acabado en color blanco RAL 9010 y su sobrio diseño lo confirman como un verdadero elemento decorativo, que aúna confort y estética en su cuarto de baño.

A continuación se puede ver la tabla de características técnicas de estos toalleros proporcionadas por el fabricante:

### Dimensiones y Características Técnicas

Modelos	Alto total A (mm)	Ancho total B (mm)	Ancho entre ejes C (mm)	Separación orificio conex. pared D (mm)	Capacidad agua l	Peso aprox. kg	Emisión calorífica en Kcal/h		Exponente "n" de la curva característica
							(1)	(2)	
CL 50-800	760	500	450	64 ± 6	5,2	8,0	437	323	1,239
CL 50-1200	1.190	500	450	64 ± 6	7,9	12,3	613	512	1,248
CL 50-1800	1.800	500	450	64 ± 6	12,0	18,7	1.099	780	1,259
CL 50-800 CR	800	500	450	75 ± 11	5,2	8,0	437	245	1,224
CL 50-1200 CR	1.195	500	450	75 ± 11	7,9	12,3	613	337	1,261
CL 50-1800 CR	1.780	500	450	75 ± 11	12,0	18,7	1.099	524	1,286

(1) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE 9-015-86 para  $\Delta t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (A título informativo)

(2) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE EN-442 para  $\Delta t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\Delta t = (T_{\text{media radiador}} - T_{\text{ambiente}})$  en  $^{\circ}\text{C}$

Exponente "n" de la curva característica según UNE EN-442

Tabla 43. Características técnicas de los toalleros BaxiRoca.

Con estos datos elegimos los toalleros que se montaran en cada una de las localizaciones:

Tabla de toalleros		
Sala	Carga Térmica Máxima (W)	Unidad Climatizadora
Aseo	274,5	CL 50 – 1800 CR
Baño 1	196,5	CL 50 – 1200 CR
Baño 2	196,5	CL 50 – 1200 CR

Tabla 44. Elección de los toalleros para cada baño de la vivienda.



Además de los fancoils y los toalleros se necesitan una serie de componentes más para el correcto funcionamiento de la instalación interior.

Los componentes restantes de la instalación interior son una bomba de circulación de agua para el circuito interno de climatización, un vaso de expansión, un depósito de inercia, un filtro y una válvula de seguridad con manómetro.

El resto de elementos de la instalación interior, el circuito de calefacción, la toma de agua con válvula de cierre y el desagüe del circuito están instalados actualmente en la vivienda.

Pasaremos a detallar cada elemento necesario para completar la instalación.

### **4.8.3 Bomba de circulación de agua del circuito interior**

Esta bomba se encargara de hacer circular el agua por el circuito interior de climatización desde la maquina a los fancoils y de regreso.

Se escoge en función de la potencia máxima que se le exige, la cual se calcula con la demanda de agua de climatización por parte de los fancoils, aunque habitualmente se le exige una potencia muy inferior a la máxima.

La bomba seleccionada será doble tipo “bombas gemelas”, para asegurar que aunque se estropeará una de las bombas la otra garantizará el funcionamiento de la instalación, pero ambas están montadas en un único conjunto. La marca elegida es Sedical y a continuación se muestra la hoja de características de la bomba.



## SEDICAL - HOJA TÉCNICA DE LA BOMBA SADP 40/8 T

### Descripción del producto

Bomba de circulación para ACS de rotor seco, con una temperatura máxima de funcionamiento de 80°C, aunque se recomienda no sobrepasar los 60°C por los efectos negativos de la calcificación, salvo en cortos procesos. Bomba para instalaciones de calefacción o climatización, tanto domésticas como industriales, con temperaturas entre -15 y 120°C.

Calidad del agua: Doméstica potable, libre de sustancias abrasivas o no, cristalizadas o mezclas químicas y químicamente neutras.

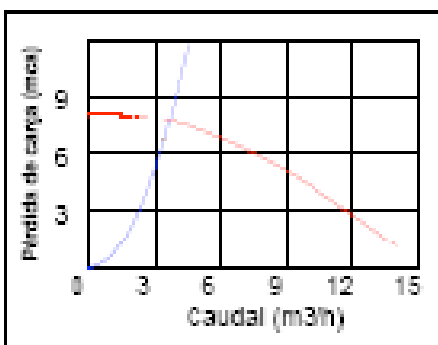
### Datos requeridos

Uso	: CALEFACCIÓN
Fluido	: AGUA
Rotor	: SECO
Tipo	: DOBLE
Caudal	: 3.4 m <sup>3</sup> /h
Pérdida de carga	: 6.7 mca
Temperatura de trabajo	: 50.0 °C
Posición	:

### Datos obtenidos Bomba

Modelo	: SADP 40/8 T
Rodete	: Ø 90
Caudal	: 3.6 m <sup>3</sup> /h
Pérdida de carga	: 7.7 mca
NPSH requerido	: 2.0 m
Nivel sonoro	: 50 dB(A)
Construcción	: In-line

### Gráfica de la bomba

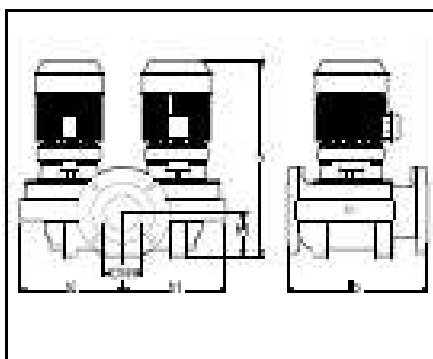


### Motor

Velocidad	: 2950 rpm
Potencia Nominal (Fn)	: 0.35 kW
Protección	: IP 44
Clase de aislamiento	: F
Consumo máx. 3x400 V	: 1.0 A
Consumo máx. 3x230 V	: 1.7 A
Potencia del eje (P2)	: 0.21 kW
Potencia consumida (P1)	: 0.28 kW
Rendimiento motor	: 74.00 %
Rendimiento bomba	: 36.37 %
Rendimiento global	: 26.92 %
Variador de frecuencia	: HV 1.05

Los motores monofásicos, de consumo superior a 3 amperios y los motores trifásicos, tienen que ser protegidos exteriormente contra sobrecargas de intensidad, sobretensiones mínimas y caídas de fase.

### Dimensiones y pesos



### Características técnicas

Cuerpo de la bomba	: Fundición gris
Eje	: Acero inoxidable
Rodete	: Termoplástico B
Cierre mecánico	: Cerámica / Carbono
Juntas	: EPDM
Conexiones	: DN 40
Presión de trabajo	: 10 bar
Temperaturas	: Máx +120°C / Mín -15°C Máx ACS + 80°C

Lo mm	b1 mm	b2 mm	h mm	h1 mm	PESO kg
260.0	185.0	187.0	377.0	66.0	43.2

P.Tarifa 2008: 5375.00 Euros  
Control y conda Incluidas  
Iva no Incluido (v 1/08)

Figura 44. Hoja técnica de la bomba de circulación.

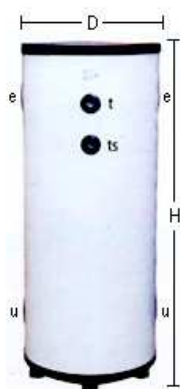


#### 4.8.4 Depósito de Inercia

El depósito de inercia del circuito se calcula de manera que dicho depósito pueda sustituir durante un tiempo determinado a la bomba de calor, evitando continuos arranques del compresor ante variaciones pequeñas de la demanda.

En nuestro caso optamos por un depósito de inercia de la marca IBAIONDO. Al ser nuestra vivienda de estudio una vivienda unifamiliar y teniendo en cuenta que la demanda de energía no va a ser de manera continuada a lo largo del día nos decidimos a elegir un depósito con una capacidad de 200 litros.

A continuación vemos las características de este depósito:



Tipo	Capacidad (l.)	Presión Max. Bar	Dimensiones DxH	Conexión de Agua 0
100 AR-A	100	10	460x1010	e-u 2"
200 AR-A	200	10	560x1245	e-u 2"
300 AR-A	300	10	610x1630	e-u 3"
500 AR-A	500	6	710x1755	e-u 3"
700 AR-A	700	6	810x1980	e-u 3"
1000 AR-A	1000	6	860x2110	e-u 3"

##### >> CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

###### Acumulador

Vertical para la acumulación de agua refrigerada en conexión con instalaciones de acondicionamiento con objeto de aumentar el volumen térmico.

###### Capacidad

100-5000 Lts.

###### Temperatura standar de acumulación

7° 12°C(Frio y 40° 50°C(Bomba de calor) .

##### >> CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

###### Depósito

Galvanizado por inmersión total en baño de cinc fundido.

###### Aislamiento

Tipos 100 1000AR-A:Poliuretano expandido rígido de 30 mm. de espesor, exento de CFC

Tipos 1500 5000AR-A:Poliuretano expandido rígido de 80 mm. de espesor, exento de CFC

###### Acabado de exterior

Tipo 100 1000AR-A: Chapa galvanizada y precalada mediante imprimación y pintura en color BLANCO (RAL 1.006), apta para instalaciones exteriores. Los fondos están dotados de tapas termoconformadas en ABS. Arandelas y soportes en PVC negro y tapones de PVC rojo.

Tipos 1500 5000AR-A: Son suministrados con una camisa de PVC color naranja (RAL 2002) y una capa de 5 mm. de poliuretano, con cierre mediante cremallera. .

Figura 45. Hoja técnica del depósito de inercia.



#### 4.8.5 Depósito de Expansión

Los vasos de expansión permiten absorber los aumentos de volumen producidos por la elevación de la temperatura del fluido del circuito interior de climatización.

En nuestro caso se opta por un vaso de expansión de membrana fija de la empresa IBAIONDO, destinados para trabajar en instalaciones de calefacción y en sistemas de refrigeración en circuito cerrado como la que se lleva a cabo en este proyecto.

- La temperatura mínima y máxima de funcionamiento es de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+110^{\circ}\text{C}$ .
- La membrana es de caucho sintético, de acuerdo con las características físicas y mecánicas de la norma DIN 4.807-SBR.
- Los vasos se fabrican de acuerdo a la Directiva Europea 97/23CE de equipos a presión.

Se calcula que para la instalación interior de la vivienda bastara con un depósito de expansión de unos 18 litros.



Tipo	Capacidad (l.)	Presión Max. Bar	Dimensiones DxH	Conexión de Agua 0
5 CMF	5	3	217x208	3/4"
8 CMF	8	3	217x338	3/4"
12 CMF	12	3	267x334	3/4"
18 CMF	18	3	317x350	3/4"
25 CMF	25	3	317x448	3/4"
35 CMF	35	3	368x440	3/4"
50 CMF-PATAS	50	4	360x630	3/4"
35 CMF-PATAS	35	4	360x480	3/4"

Figura 46. Datos técnicos del depósito de expansión.

#### 4.8.6 Filtro

Se instala un filtro a la entrada del circuito a la bomba de calor para que no se dañen los intercambiadores de placas de la bomba de calor, será un filtro en Y.

Se escoge el siguiente filtro acorde a las dimensiones del circuito interior de climatización, es decir para una tubería de  $\frac{1}{2}$ " :



Filtro colador paso en Y

latón y acero inox. roscado

Medidas:  $\frac{1}{2}$ " a  $2\frac{1}{2}$ "

Figura 47. Datos técnicos del filtro colocado a la entrada del circuito.



#### 4.8.7 Válvula de seguridad con manómetro

La válvula de seguridad se inserta en algún punto del circuito para que cuando suba la presión del circuito por encima de un valor determinado (presión de tarado), se abre automáticamente.



*Figura 48. Datos técnicos de la valvula de seguridad elegida.*

Las calderas con vaso de expansión cerrado, equipos de producción y almacenamiento de agua caliente y, en general, los circuitos que no estén en contacto con la atmosfera llevaran una válvula de seguridad generalmente acompañada de un manómetro.

Teniendo en cuenta que a mayor temperatura hay una mayor presión suele colocarse en el tubo de ida y en las proximidades de la caldera.

En este caso se ha optado por la instalación de esta válvula de seguridad que incorpora manómetro por comodidad. La función del manómetro es la de indicar la presión del circuito cerrado de agua de climatización interno, para calibrar la válvula de seguridad y asegurar que el circuito trabaje a la presión adecuada.

Para mayor seguridad y minimizar el mantenimiento de la instalación se ha optado por instalar además una válvula de llenado automático manométrico.



### Válvula de llenado automático para sistemas de calefacción, VF06



La válvula de llenado automático VF06 permite el llenado y rellenado de las instalaciones de calefacción de circuito cerrado. Una válvula reductora de presión, una válvula de retención y la función de corte combinadas en una única válvula. La toma para manómetro permite la colocación de un manómetro (accesorio) para tener un control preciso de la presión de la instalación una vez llena.

Para instalaciones de calefacción de circuito cerrado según DIN 4751:

- Para el colector del circuito de calefacción,
- en combinación con un grupo de llenado
- para calderas mediante manguera de conexión, en la impulsión o directamente en la caldera,
- cómo sistema de llenado para el llenado seguro y sin problemas de la instalación.

Certificados

válvula de retención certificada DIN/DVGW

Materiales

Cuerpo de latón, tapa del muelle y mando de ajuste de material plástico, diafragma de NBR reforzado, juntas de NBR.

Medio

agua

Temperatura máxima

70 °C

Pr. estática

PN16

Rango de presión ajustable

0,5 ... 3 bar

Tipo de conexión

rosca externa

*Figura 49. Datos técnicos de la valvula de llenado automatico elegida.*





## 5. Equipos para la regulación del sistema de climatización

La regulación de la instalación interior, es decir, de la climatización de la vivienda se realiza individualmente para cada uno de los fancoils. Por tanto casi todas las estancias de la vivienda pueden climatizarse por separado.

Esta climatización individualizada es muy ventajosa, cuando la instalación está dando servicio, en varios aspectos. En lo que a confort de uso se refiere, ya que cada estancia puede ser climatizada al gusto de su o sus componentes haciendo así que el confort de todos los habitantes de la vivienda sea optimo. Además se podrá climatizar cada una de las zonas en función del uso que se le dé y teniendo en cuenta el hecho de que en esta vivienda la mayor parte de las estancias no están habitadas durante el día, se obtiene como resultado la optimización del consumo energético y el beneficio ambiental que el ahorro energético conlleva. Este ahorro energético conlleva además un ahorro económico nunca despreciable.

La regulación de los fancoils se realiza mediante los termostatos CIAT AVANT, compatibles con los fancoils MAJOR2 de Ciatesa instalados.



*Figura 50. Termostato CIAT AVANT*

Aparte de la regulación individualizada de las climatizadoras, la bomba de calor reversible tiene su propio sistema de regulación.

La gama de bombas de calor Aurea está equipada de un modulo electrónico de regulación y señalización que incorpora un microprocesador, denominado  $\mu$ chiller. Este regulador electrónico controla de forma óptima el funcionamiento del generador y gestiona las alarmas, asegurando la protección de la instalación.

El sistema  $\mu$ chiller asegura las siguientes funciones:

- Regulación de temperatura de agua fría y agua caliente.
- Selección del modo de funcionamiento y de las consignas de temperatura.
- Visualización del modo de funcionamiento seleccionado y temperatura de retorno de agua.
- Control antihielo del intercambiador interior y exterior.
- Señalización de alarmas.
- Control de las bombas de circulación de agua tanto de la instalación interior como la del intercambiador geotérmico exterior.



## 6. Subvenciones

Este tipo de instalaciones geotérmicas están subvencionadas por la comunidad autónoma de Madrid, el estado y la comunidad económica Europea, por considerarse una energía renovable. Se considera así por aprovechar la energía solar y el calor que emana de la tierra, así como la inercia térmica del terreno, todo ello energía renovable.

La ayuda que proporciona la comunidad de Madrid dice lo siguiente:

Esta ayuda es dirigida para los sistemas de aprovechamiento de la energía térmica, calor y/o frío existente en el subsuelo, para su consumo en el sector doméstico, industrial o de servicios, mediante sistemas electromecánicos o termodinámicos.

Se considerarán tanto los sistemas de aprovechamiento de energía térmica para redes de distrito, como los sistemas de aprovechamiento de la energía térmica para climatización utilizando bombas de calor que intercambien con el terreno, ya sean de circuito abierto o cerrado, tanto para instalaciones existentes que se reformen como para instalaciones nuevas. Formarán parte de las partidas elegibles las inversiones correspondientes a la realización de los proyectos de ingeniería, perforación y obra civil asociada al proyecto, sistemas de captación, incluyendo la reinyección, aprovechamiento del recurso geotérmico y en general cualquier elemento que sea indispensable para la consecución de los objetivos energéticos que se persiguen con la instalación.

No se subvencionarán aquellos proyectos, o la parte correspondiente, cuya instalación sirva para cumplir con los requisitos, susceptibles de aplicación, fijados por el Código Técnico de la Edificación.

Estas ayudas son incompatibles con las que concede el Instituto Madrileño de Desarrollo para fomento del ahorro y la eficiencia energética, y específicamente con las establecidas en la Orden de 16 de octubre de 2008, por la que se regula la concesión de ayudas por el Instituto Madrileño de Desarrollo para Promoción de Actuaciones de Ahorro y Eficiencia Energética y se realiza su convocatoria para el año 2008.

La cuantía máxima es de un 30 por 100 del coste de referencia.

Los beneficiarios a los que va destinada la ayuda son los siguientes:

1. Corporaciones Locales, así como sus agrupaciones o mancomunidades.
2. Otras entidades públicas o con participación pública.
3. Instituciones sin ánimo de lucro.
4. Comunidades de propietarios o agrupaciones de las mismas.
5. Sociedades cooperativas.
6. Empresas, empresarios autónomos y otras personas jurídicas no incluidas en los apartados anteriores, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.
7. Personas físicas, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.



## 7. Presupuesto

Presupuesto realizado para el suministro e instalación de un sistema geotérmico para una vivienda unifamiliar de 200 m<sup>2</sup>, compuesto por un sistema de agua caliente sanitaria, climatización de calor, intercambiador geotérmico vertical, tecnología agua glicolada para el circuito exterior y de agua para el circuito interior e instalación de fancoils para el circuito interior.

Presupuesto/ Descripción	Unidades	Precio/unidad	Subtotal (€)
<b>Lote Captador Geotérmico</b> Excavación de dos pozos de 27 m de profundidad con un diámetro de 150 mm situados a 6 metros uno del otro (15 euros/metro).  Excavación canal 0,65x40x1 metros para el colector.  Se incluye el rellenado posterior con el conglomerado extraído.	1	3.000,00	3.000,00
<b>Materiales Intercambiador Geotérmico</b> Compuesto por: 200 metros de tubería polietileno PE100 (10 atm) con un diámetro nominal de 2 ½", 10 codos, 2 T's, 2 válvulas y 4 enlaces rectos.	1	850,00	850,00
<b>Instalación Intercambiador Geotérmico</b> Colocación de las tuberías que componen tanto el colector como el intercambiador vertical, así como las uniones entre estos y la unión a la bomba.  Rozas en el muro del garaje para el paso del colector con albañilería y pintura posterior.	1	1.500,00	1.500,00
<b>Lote Generador Geotérmico</b> Equipo Aurea Modulo 70Z de Ciatesa. Equipo Bomba de calor agua-agua reversible para producción de agua caliente sanitaria y agua caliente para la climatización.	1	3.500,00	3.500,00
<b>Opciones Generador Geotérmico</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aislamiento acústico del compresor: 57€</li><li>• Kit arranque para temperaturas bajas en circuito interior: 250 €</li><li>• Puesta en marcha: 200 €</li><li>• Soporte antivibratorios caucho: 75 €</li><li>• Regulación <math>\mu</math>chiller: 320 €</li></ul>	1	902,00	902,00
<b>Bomba de Circulación Intercambiador Geotérmico</b>			



Bomba gemela, marca Sedical, modelo SA(D)P 40/8T, en circuito hidráulico del intercambiador geotérmico, incluyendo bridas, contrabridas, juntas, cableado, conexión eléctrica, completa, instalada y probada.	1	1.200,00	1.200,00
<b>Bomba de Circulación Calefacción</b> Bomba gemela, marca Sedical, modelo SA(D)P 40/8T, en circuito hidráulico del intercambiador geotérmico, incluyendo bridas, contrabridas, juntas, cableado, conexión eléctrica, completa, instalada y probada.	1	1.200,00	1.200,00
<b>Deposito de Expansión Intercambiador Geotérmico</b> Vaso de expansión de la marca Caleffi, el modelo 568-060 con una capacidad de 60 litros y una presión máxima de trabajo de 10 bares.  Totalmente instalado y en funcionamiento.	1	89,00	89,00
<b>Deposito de Expansión Calefacción</b> Vaso de expansión de membrana fija de la empresa IBAIONDO, con una capacidad máxima de 18 litros.	1	89,00	89,00
<b>Deposito de Inercia</b> Deposito de inercia marca IBAIONDO, tipo 200AR-A, fabricado en acero al carbono. Aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectado en molde, libre de CFC y acabado exterior con forro acolchado desmontable.	1	310,00	310,00
<b>Instalación Circuito Interior</b> Adecuación del circuito de climatización existente al sistema geotérmico, cierre de cinco zonas del circuito y conexión del mismo a la bomba de calor, instalación de elementos como las válvulas, deposito de expansión, bombas de circulación, etc.	1	2.000,00	2.000,00
<b>Lote de Accesorios de la Instalación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Válvula de seguridad manométrica: 10,80 €</li> <li>Válvula de llenado automático: 20 €</li> <li>2 Filtros: 50 €</li> </ul>	1	80,80	80,80
<b>Fancoil Major2 modelo 428</b>	2	273,00	546,00
<b>Fancoil Major2 modelo 426</b>	8	249,90	1999,2
<b>Toallero CL 50 – 1800 CR</b>	1	180,00	180,00
<b>Toallero CL 50 – 1200 CR</b>	2	150,00	300,00



<b>Instalación de los Fancoils y Toalleros.</b> Conexiones de agua y electricidad de la casa a los equipos.	13	100,00	1300,00
<b>Total</b>			<b>19.046,00</b>
<b>Total con I.V.A.</b>			<b>22.093,36</b>
<b>Subvención (-30%)</b>			<b>6.628,00</b>
<b>Precio Final</b>			<b>15.465,36</b>



## 8. Comparación de Consumos del sistema geotérmico respecto de un sistema tradicional

En este apartado analizaremos los consumos de los diferentes dispositivos del sistema de climatización que consumen energía, electricidad en el caso del sistema geotérmico y electricidad y gas natural en el caso de la calefacción tradicional.

La simulación de los consumos se hace tomando como datos de partida la demanda térmica de la casa de forma que se pueda simular el funcionamiento de la bomba de calor cuyo rendimiento varía mucho con la demanda.

### Consumo del sistema geotérmico.

Los dispositivos que consumen electricidad son las bombas de circulación de agua interior y la exterior, la bomba de calor reversible, su compresor y los ventiladores de los fancoils.

Para calcular la potencia tanto de los ventiladores de los fancoils como de las bombas de circulación de agua se utilizara la siguiente fórmula:

$$\dot{W} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p}{v}$$

Donde:

- $\dot{W}$  = potencia (Watt)
- $\dot{m}$  = flujo másico ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )
- $\Delta p$  = diferencia de presión a un lado y a otro de las bombas (Pascal)
- $v$  = volumen ( $\text{m}^3$ )

Y para el cálculo del consumo se tiene en cuenta un rendimiento:

$$\text{Consumo} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta}$$

Donde:

- $\dot{m}$  = flujo másico ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )
- $\Delta p$  = diferencia de presión a un lado y a otro de las bombas (Pascal)
- $\rho$  = densidad ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
- $\eta$  = rendimiento de la bomba.

Para obtener los datos de caudales y diferencias de presión, se recurre a la información técnica de los equipos.

En la tabla que se muestra a continuación se encuentran estos datos:



Equipo	Rendimiento	Caudal ( $\dot{m}$ ) (kg/seg)	$\Delta p$ (Pa)
Fancoil major2 426 (x8)	0.5	$0,035 \cdot 8$	$10^3$
Fancoil major2 428 (x2)	0.5	$0,06 \cdot 2$	$10^3$
Bomba agua interior	0.7	0.66	$10^5$
Bomba agua exterior	0.7	1.02	$10^5$

Tabla 45. Datos técnicos de los fancoils elegidos: Caudal, rendimiento y diferencia de presión.

Además se estima que tanto las bombas de agua como los ventiladores de los fancoils trabajan durante el 70% del periodo del funcionamiento de la instalación. Se calculara en primer lugar el consumo de los fancoils:

$$\text{Consumo}_{\text{vent}} = \frac{0.4 \text{ kg/s} \cdot 10^3 \text{ Pa}}{1.19 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.5} = 672.26 \text{ W}$$

En segundo lugar se calcula el consumo de las bombas de circulación de agua, tanto la bomba del circuito interior como la del circuito exterior.

$$\text{Consumo}_{\text{Bombas}} = \frac{1.68 \text{ kg/s} \cdot 10^5 \text{ Pa}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.7} = 240 \text{ W}$$

Si estos datos se los sumamos al consumo de la bomba de calor reversible al completo, incluyendo todos sus dispositivos, compresor y regulaciones eléctricas y electrónicas interiores. Sabremos el consumo en euros.

El coste de la unidad energética es:

$$\text{Coste unidad energetica} = \text{tarifa electrica} \cdot \text{potencia electrica consumida}$$

$$\text{Coste unidad energetica} = 0,073264 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{2,7} = 0,027 \text{ €/kWh}$$

De esta manera el gasto anual es de:

$$14,712 \text{ kW} \cdot 2500 \text{ h} \cdot 0,027 = 1195,56 \text{ €/año}$$

Lo que nos queda que tenemos un gasto mensual de 99,63 €.

Si lo comparamos con una caldera de gasoil convencional con un rendimiento del 80% podremos ver los costes.

$$\text{Coste unidad energetica} = \text{poder calorifico} \cdot \text{rendimiento} / \text{Precio combustible}$$

$$\text{Coste unidad energetica} = \frac{1,257 \text{ €/litros}}{10 \text{ litros/kW}} \cdot 0,8 = 0,10056 \text{ €/kW}$$

Quedándonos un gasto anual de:

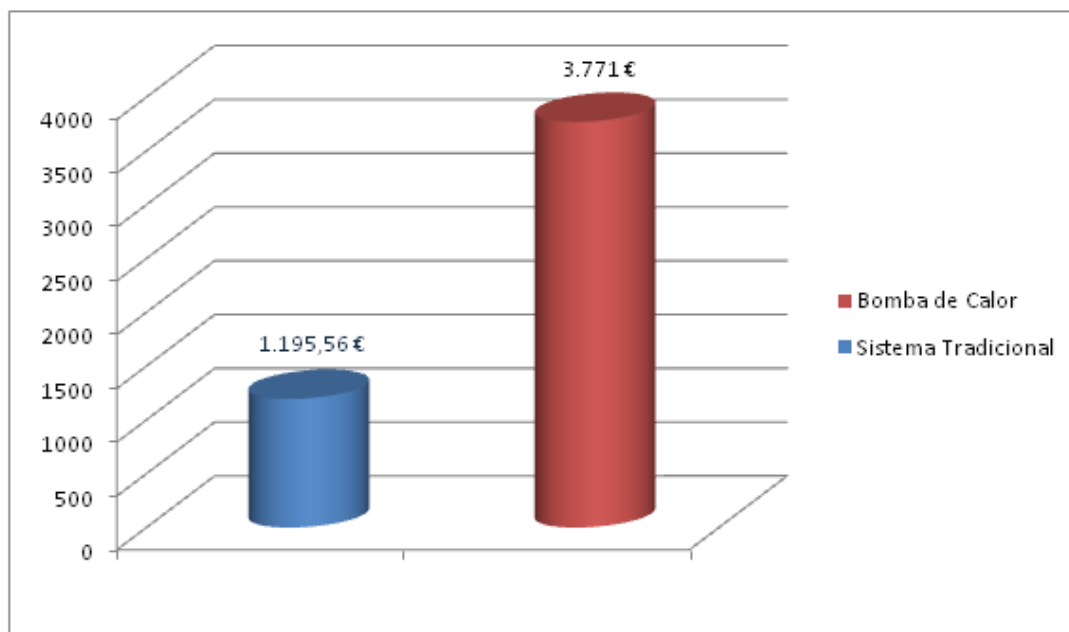




$$15 \text{ kW} \cdot 2500 \text{ h} \cdot 0,10056 \frac{\text{€}}{\text{kW}} = 3.771 \text{ €/año}$$

Lo que es igual a un consumo mensual de 314, 25 €.

En el plano económico es claro que el sistema de climatización geotérmico es más rentable.



*Figura 51. Grafico económico comparativo entre un sistema de bomba de calor y un sistema de climatización convencional.*



## 9. Conclusiones

Una vez terminados los diferentes apartados de que consta este proyecto se llega a las conclusiones finales sobre este sistema geotérmico en particular y la geotermia de muy baja temperatura en general.

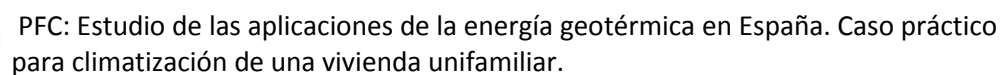
El uso de una bomba geotérmica contribuye a la disminución de las emisiones, además de aumentar la eficiencia por la estabilidad de la temperatura del terreno. La geotermia es actualmente una de las formas más limpias de climatizar y la previsión es que la energía eléctrica disminuya su impacto ambiental específico (kg de CO<sub>2</sub>/kWh), con lo que la geotermia ganará en limpieza.

La instalación de calefacción de este proyecto ha sido concebida teniendo en cuenta el confort y el ahorro energético. La configuración a caudal variable permite ajustarse mejor en cada momento a las necesidades térmicas y permite ahorrar energía.

Los fancoils de cada sala pueden regularse de manera individualizada, lo cual resulta muy ventajoso tanto para el confort como económica y ecológicamente.

Todo ello ha contribuido a conseguir una instalación de calefacción que garantiza el confort necesario y más ecológico.

Económicamente una instalación geotérmica supone mayor inversión que una instalación convencional, sin embargo los costes de mantenimiento de la instalación geotérmica, el ahorro de electricidad y la mayor vida útil de la bomba de calor por encontrarse dentro de la vivienda, hacen amortizable la inversión.



**VIVIENDA II**

**PLANTA SÓTANO**

WELL SERVICE  
20.72

BOVEDA  
4.7/5m<sup>2</sup>

PATIO  
4.50m<sup>2</sup>

BOVEDA  
4.7/5m<sup>2</sup>

DISCOTECA-ESCAL.  
7.40m<sup>2</sup>

ASEO  
4.19m<sup>2</sup>

CUARTO DE LAVADO  
8.33m<sup>2</sup>  
RETA ENLACE TRABAJO

ESCAL.

0 1 2 3

CALLE PEATONAL

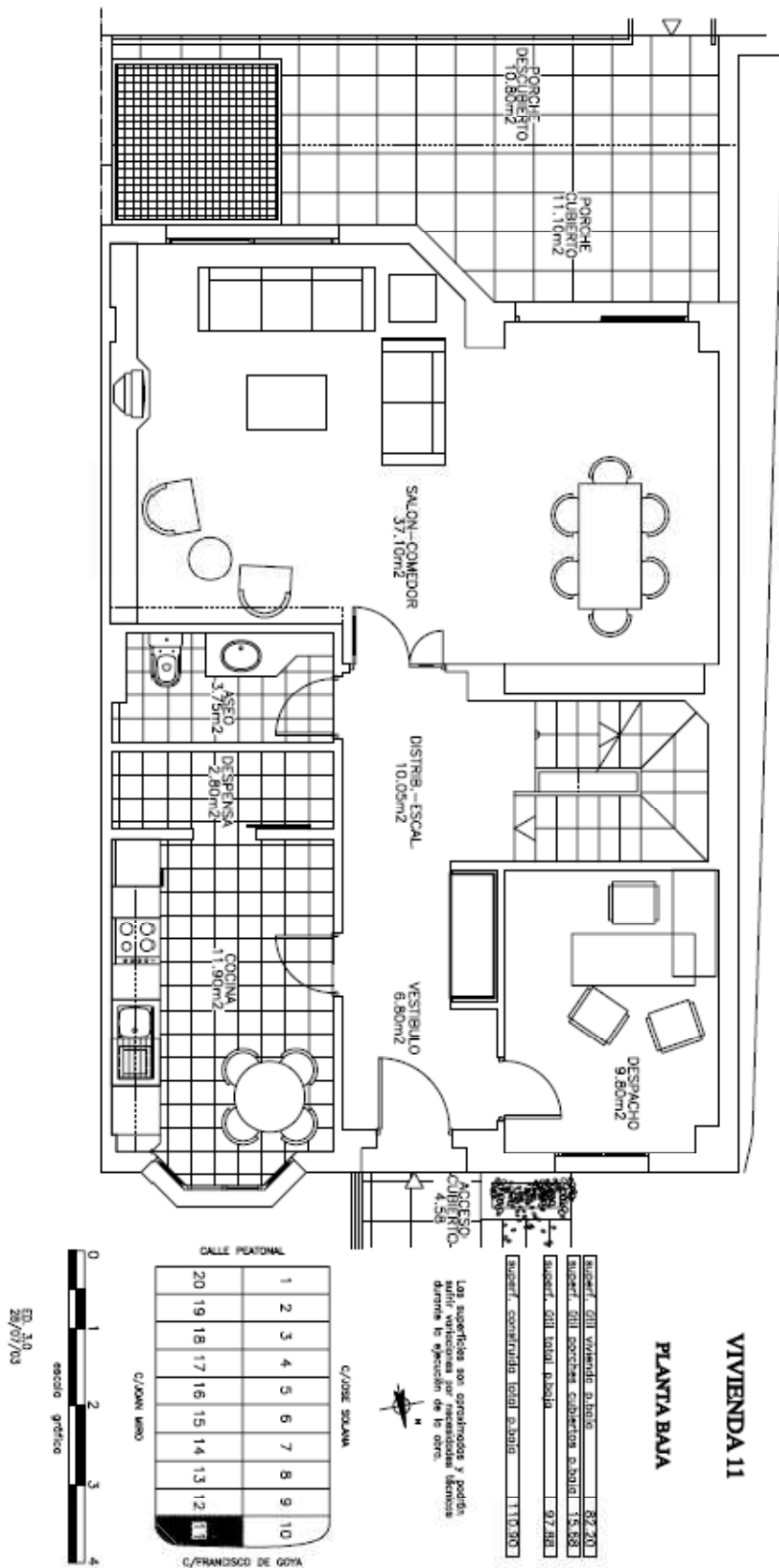
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

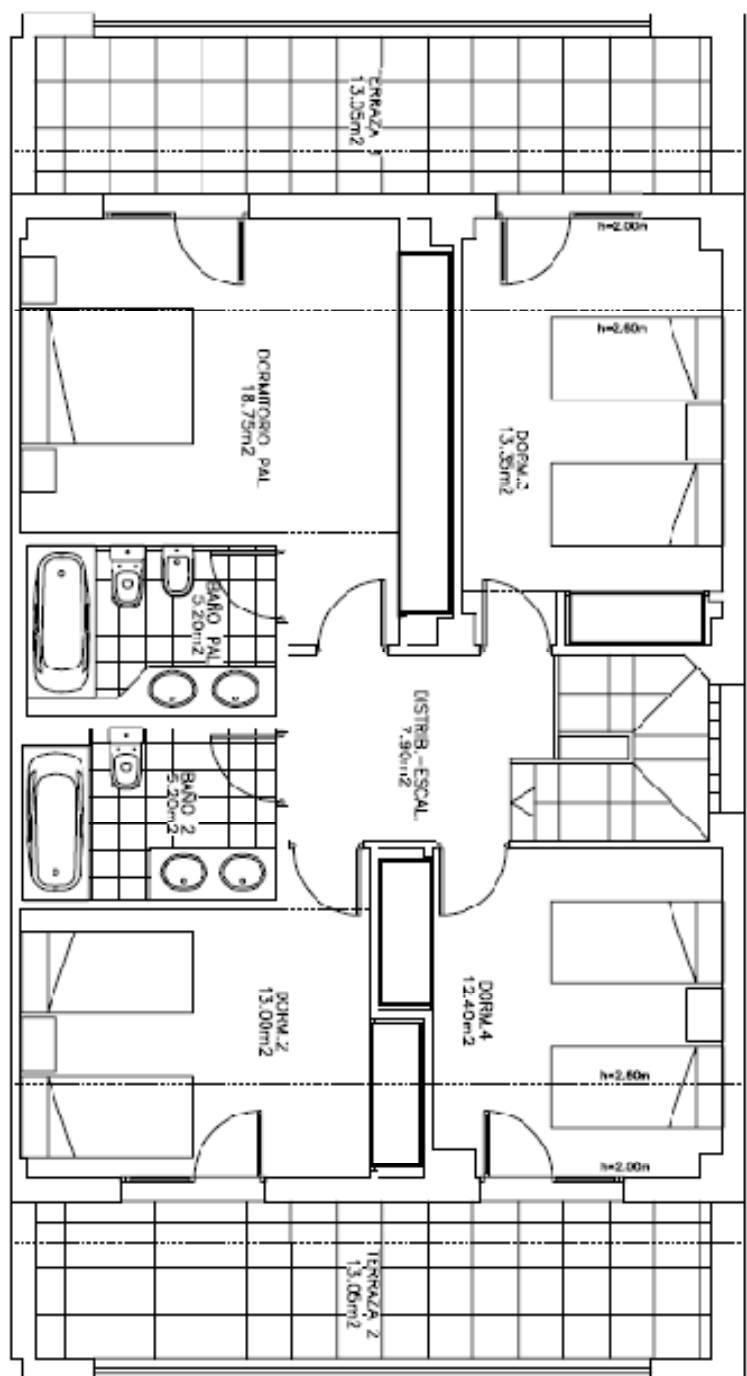
c/JOSE SOLANA

La superficie son aproximada y podrán sufrir variaciones por necesidades técnicas durante la ejecución de la obra.

superf. útil total p. sótano 1105.30 m<sup>2</sup>

superf. aprovechable total p. sótano 1102.25 m<sup>2</sup>





## VIVIENDA II

### PLANTA PRIMERA OPCIÓN B

SUPERF. DE VIVIENDA PRIMERA	75.83
SUPERF. DE TERRAZAS PRIMERA	26.10
SUPERF. DE TOTAL PRIMERA	101.93
SUPERF. CONSTRUIDA TOTAL PRIMERA	122.63

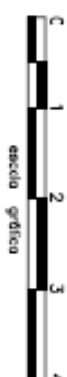
Las superficies son aproximadas y están sujetas a variaciones por modificaciones técnicas durante la ejecución de la obra.



C/JOSE SOLANA

GALLE PEATONAL									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

C/JOSE SOLANA



IB 4.0  
18/07/03



## **11. Bibliografía**

- Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE), Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y sus instrucciones técnicas IT.
- Código Técnico de la Edificación:
  - Documento Básico HE Ahorro de Energía.
  - Documento Básico HS Salubridad.
- Manual de Geotermia. Autor: IDEA
- Manual HVAC Ashrae. Autor: Ashrae
- Guía de la Energía Geotérmica. Autores: Guillermo Llopis Trillo y Vicente Rodrigo Angulo.
- Ahorro de energía: Aprovechamiento de la energía geotérmica en las instalaciones de climatización. Autora: Ana María García López.
- Energías renovables, fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear. Autor: Antonio Madrid Vicente
- Energía geotérmica. Autor: Jaume Pous.

### **Proyectos**

- Climatización de una vivienda unifamiliar mediante una bomba de calor reversible con intercambio geotérmico. Autor: Andrés Guerra Moya.
- Climatización de un bloque de 46 viviendas mediante suelo radiante dinámico. Autor: Jorge Rodrigo Ruiz.
- Diseño y cálculo de una instalación para climatización mediante suelo radiante y ACS en una vivienda unifamiliar. Autor: Alejandro Morales Melian.
- Calefacción por bomba de calor geotérmica utilizando los refrigerantes de nueva generación. Autor: Cristina Lázaro Lozano.

### **Software utilizado:**

- Microsoft Office
- Cálculo de cargas térmicas: Dmelect: CATE
- Diseño intercambiador geotérmico: Geo-Ciatesa v1.00

### **Páginas Web consultadas**

- <http://www.idae.es/>
- <http://www.ashrae.org/>
- <http://www.geoplat.org/>
- <http://www.googleenergy.com/>
- <http://www.ciemat.es/>
- <http://www.energylab.es/>